

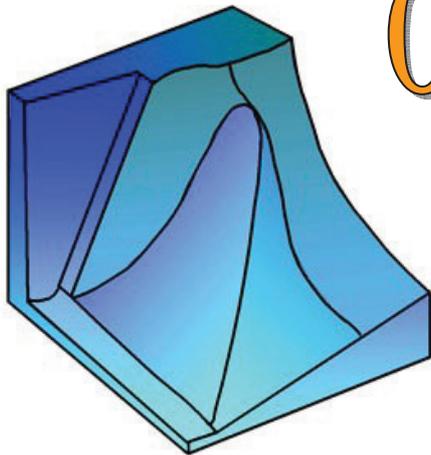


Física

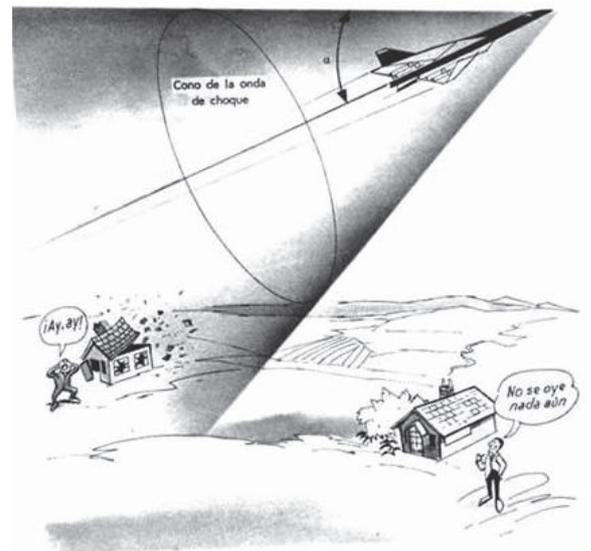
General

II B

Óptica



Ondas



Termodinámica

Guía de Ejercicios y Problemas

Problemas seleccionados del texto guía: Young, Freedman, Sears, & Zemansky (2009).
"FÍSICA UNIVERSITARIA". Volumen 2 - (12ª Edición). Ed. Pearson Education.

Instituto de Ciencias Básicas - Universidad Nacional de Cuyo

PRÁCTICA 1

Temperatura y Calor.

P17.1. Explique por qué no tendría sentido utilizar un termómetro de vidrio de tamaño normal, para medir la temperatura del agua caliente contenida en un dedal.

P17.4. ¿Por qué se revientan las tuberías de agua congeladas? ¿Se rompería un termómetro de mercurio a temperaturas por debajo del punto de congelación del mercurio? ¿Por qué?

P17.6. El interior de un horno está a 200 °C (392 °F). Podemos meter la mano en él sin sufrir daño, en tanto no toquemos nada. Dado que el aire dentro del horno también está a 200 °C, ¿por qué no se quema la mano?

P17.16. El clima de regiones adyacentes a cuerpos grandes de agua (como las costas del Pacífico o el Atlántico) suele ser más moderado que el de regiones alejadas de cuerpos grandes de agua (como las praderas). ¿Por qué?

P17.24. Es bien sabido que una papa se hornea en menos tiempo si se atraviesa con un clavo grande. ¿Por qué? ¿Sería mejor usar un clavo de aluminio que uno de acero? ¿Por qué? (Nota: ¡no intente esto en un horno de microondas!) También se vende un aparato para acelerar el rostizado de carne, que consiste en un tubo metálico que contiene una mecha y un poco de agua; se dice que esto es mucho mejor que una varilla metálica sólida. ¿Cómo funciona?

17.12. Un termómetro de gas registró una presión absoluta correspondiente a 325 mm de mercurio, estando en contacto con agua en el punto triple. ¿Qué presión indicará en contacto con agua en el punto de ebullición normal?

17.18. Ajuste estrecho. Los remaches de aluminio para construcción de aviones se fabrican un poco más grandes que sus agujeros y se enfrían con “hielo seco” (CO₂ sólido) antes de insertarse. Si el diámetro de un agujero es de 4.500 mm, ¿qué diámetro debe tener un remache a 23.0 °C para que su diámetro sea igual al del agujero cuando se enfría a -78.0 °C, la temperatura del hielo seco? Suponga que el coeficiente de expansión es constante, con el valor dado en la tabla 17.1.

17.26. a) Si un área medida en la superficie de un cuerpo sólido es A_0 a cierta temperatura inicial y cambia en ΔA cuando la temperatura cambia en ΔT , demuestre que

$$\Delta A = (2\alpha) A_0 \Delta T$$

donde α es el coeficiente de expansión lineal. b) Una lámina circular de aluminio tiene 55.0 cm de diámetro a 15.0 °C. ¿Cuánto cambia el área de una cara de la lámina cuando la temperatura aumenta a 27.5 °C?

17.32. Los rieles de acero para un tren se tienden en segmentos de 12.0 m de longitud, colocados extremo con extremo en un día de invierno en que la temperatura es de -2.0 °C. a) ¿Cuánto espacio debe dejarse entre rieles adyacentes para que apenas se toquen en verano, cuando la temperatura suba a 33.0 °C? b) Si los rieles se tienden en contacto, ¿a qué esfuerzo se someterán un día de verano en el que la temperatura sea 33.0 °C?

17.41. Un clavo que se clava en una tabla sufre un aumento de temperatura. Si suponemos que el 60% de la energía cinética de un martillo de 1.80 kg que se mueve a 7.80 m/s se transforma en calor, que fluye hacia el clavo y no sale de él, ¿cuánto aumentará la temperatura de un clavo de aluminio de 8.00 g golpeado 10 veces?

17.42. Un técnico mide el calor específico de un líquido desconocido sumergiendo en él una resistencia eléctrica. La energía eléctrica se convierte en calor transferido al líquido durante 120 s con tasa constante de 65.0 W. La masa del líquido es de 0.780 kg y su temperatura aumenta de 18.55 °C a 22.54 °C. a) Calcule el calor específico promedio del líquido en este intervalo de temperatura. Suponga que la cantidad de calor que se transfiere al recipiente es despreciable y que no se transfiere calor al entorno. b) Suponga que no es posible despreciar la transferencia de calor del líquido al recipiente o al entorno en este experimento. ¿El resultado de a) es *mayor* o *menor* que el calor específico promedio real del líquido? Explique su respuesta.

17.54. La evaporación del sudor es un mecanismo importante para controlar la temperatura de algunos animales de sangre caliente. a) ¿Qué masa de agua debe evaporarse de la piel de un hombre de 70.0 kg para enfriar su cuerpo 1.00 °C? El calor de vaporización del agua a la temperatura corporal de 37 °C es de 2.42×10^6 J/kg · K. La capacidad calorífica específica del cuerpo humano es de 3480 J/kg · K (véase el ejercicio 17.37). b) ¿Qué volumen de agua debe beber el hombre para reponer la que evaporó? Compárelo con el volumen de una lata de bebida gaseosa (355 cm³).

17.58. Un técnico de laboratorio pone una muestra de 0.0850 kg de un material desconocido, que está a 100.0 °C, en un calorímetro cuyo recipiente, inicialmente a 19.0 °C, está hecho con 0.150 kg de cobre y contiene 0.200 kg de agua. La temperatura final del calorímetro es de 26.1 °C. Calcule el calor específico de la muestra.

17.67. Un carpintero construye una pared exterior con una capa de madera ($k = 0.080$ W/m · K) de 3.0 cm de espesor externa y una capa de espuma de poliestireno ($k = 0.010$ W/m · K) de 2.2 cm de espesor interna. La temperatura de la superficie interior es de 19.0 °C, y la exterior, -10.0 °C. a) Calcule la temperatura en la unión entre la madera y la espuma de poliestireno. b) Calcule la tasa de flujo de calor por metro cuadrado a través de esta pared.

17.71. Una olla con base de acero de 8.50 mm de espesor y área de 0.150 m² descansa en una estufa caliente. El agua dentro de la olla está a 100.0 °C y se evaporan 0.390 kg cada 3.00 min. Calcule la temperatura de la superficie inferior de la olla, que está en contacto con la estufa.

17.76. La emisividad del tungsteno es de 0.350. Una esfera de tungsteno con radio de 1.50 cm se suspende dentro de una cavidad grande evacuada, cuyas paredes están a 290.0 K. ¿Qué aporte de potencia se requiere para mantener la esfera a una temperatura de 3000.0 K, si se desprecia la conducción de calor por los soportes?

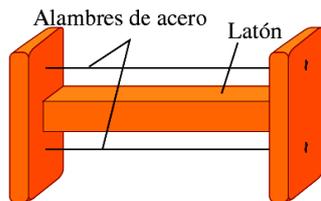
17.86. Usted vierte 108 cm³ de etanol, a una temperatura de -10.0 °C, en un cilindro graduado inicialmente a 20.0 °C, llenándolo hasta el borde superior. El cilindro está hecho de vidrio con un calor específico de 840 J/kg · K y un coeficiente de expansión de volumen de 1.2×10^{-5} K⁻¹; su masa es de 0.110 kg. La masa del etanol es de 0.0873 kg. a) ¿Cuál será la temperatura final del etanol, una vez que se alcanza el equilibrio térmico? b) ¿Cuánto etanol se desbordará del cilindro antes de alcanzar el equilibrio térmico?

17.89. a) La ecuación (17.12) da el esfuerzo requerido para mantener constante la longitud de una varilla cuando su temperatura cambia. Demuestre que, si se permite que la longitud cambie una cantidad ΔL cuando la temperatura cambia una cantidad ΔT , el esfuerzo será igual a

$$\frac{F}{A} = Y \left(\frac{\Delta L}{L_0} - \alpha \Delta T \right)$$

donde F es la tensión en la varilla, L_0 es su longitud original, A es el área de la sección transversal, α es su coeficiente de expansión lineal y Y es su módulo de Young. b) Una barra de latón gruesa tiene proyecciones en sus extremos (figura 17.32).

Figura 17.32 Problema 17.89.



Dos alambres finos de acero, tendidos entre las proyecciones, tienen tensión cero cuando el sistema está a 20°C . Calcule el esfuerzo de tensión en los alambres, si el sistema se calienta a 140°C . Haga supuestas simplificaciones si es necesario, pero especifíquelas.

17.91. Un anillo de acero con diámetro interior de 2.5000 in a 20.0°C se calienta y se ensambla alrededor de un eje de latón con diámetro exterior de 2.5020 in a 20.0°C . a) ¿A qué temperatura debe calentarse el anillo durante el ensamble? b) Si el anillo y el eje se enfrían juntos, digamos con aire líquido, ¿a qué temperatura se saldrá el anillo del eje?

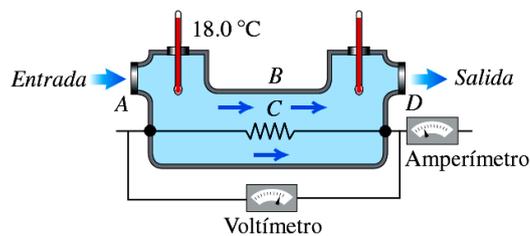
17.104. Un recipiente de espuma de poliestireno de masa insignificante contiene 1.75 kg de agua y 0.450 kg de hielo. Más hielo, proveniente de un refrigerador a -15.0°C , se agrega a la mezcla en el recipiente, y cuando se alcanza el equilibrio térmico, la masa total del hielo en el recipiente es de 0.778 kg . Suponiendo que no hay intercambio de calor con los alrededores, ¿cuál es la masa de hielo que se agregó?

17.106. Un tubo conduce desde un calorímetro de 0.150 kg hasta un matraz donde hierve agua a presión atmosférica. El calorímetro tiene calor específico de $420\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ que originalmente contiene 0.340 kg de agua a 15.0°C . Se permite que se condense vapor en el calorímetro a presión atmosférica hasta que su temperatura sube a 71.0°C , después de lo cual la masa total del calorímetro y su contenido es de 0.525 kg . Calcule el calor de vaporización del agua con estos datos.

17.116. La tasa de energía radiante que llega del Sol a la atmósfera superior de la Tierra es de cerca de 1.50 kW/m^2 . La distancia de la Tierra al Sol es de $1.50 \times 10^{11}\text{ m}$, y el radio del Sol es de $6.96 \times 10^8\text{ m}$. a) Calcule la tasa de radiación de energía por unidad de área de la superficie solar. b) Si el Sol radia como cuerpo negro ideal, ¿qué temperatura superficial tiene?

17.119. Un ingeniero está perfeccionando un calentador de agua eléctrico que suministra agua caliente continuamente. En la figura 17.34 se muestra un diseño de prueba. El agua fluye a una tasa de 0.500 kg/min , el termómetro de entrada registra 18.0°C , el voltímetro marca 120 V y el amperímetro indica 15.0 A [lo que corresponde a un aporte de potencia de entrada de $(120\text{ V}) \times (15.0\text{ A}) = 1800\text{ W}$]. a) Cuando por fin se alcanza un estado estable, ¿qué marca el termómetro de salida? b) ¿Por qué no necesitamos considerar la capacidad calorífica mc del aparato en sí?

Figura 17.34 Problema 17.119.



PRÁCTICA 2

Propiedades térmicas de la materia.

P18.1. En la sección 18.1 se dice que, en condiciones ordinarias, no es posible cambiar individualmente la presión, el volumen o la temperatura sin afectar las demás. Sin embargo, al evaporarse un líquido, su volumen cambia, aunque su presión y temperatura son constantes. ¿Es inconsistente esto? ¿Por qué?

P18.6. La comida no envuelta que se encuentra en un congelador sufre deshidratación, conocida como “quemadura de congelador”. ¿Por qué?

P18.15. El modelo cinético-molecular contiene un supuesto oculto respecto a la temperatura de las paredes del recipiente. ¿Cuál es? ¿Qué sucedería si no fuera válido?

P18.21. Considere dos muestras de gas ideal que están a la misma temperatura. La muestra A tiene la misma masa total que B, pero sus moléculas tienen mayor masa molar. ¿En cuál muestra es mayor la energía cinética total? ¿Su respuesta depende de la estructura molecular de los gases? ¿Por qué?

P18.24. a) Si usted aplica la misma cantidad de calor a 1.00 mol de un gas monoatómico ideal y a 1.00 mol de un gas diatómico ideal, ¿cuál de ellos (si acaso) aumentará más su temperatura? b) Físicamente, ¿por qué los gases diatómicos tienen mayor capacidad calorífica molar que los gases monoatómicos?

P18.28. Un vaso con agua a temperatura ambiente se coloca en una campana en la que se va reduciendo gradualmente la presión del aire. Cuando la presión del aire se reduce lo suficiente, el agua comienza a hervir. La temperatura del agua no aumenta al hervir; de hecho, *baja* un poco. Explique estos fenómenos.

18.4. Un tanque de 3.00 L contiene aire a 3.00 atm y 20.0 °C. El tanque se sella y enfría hasta que la presión es de 1.00 atm. a) ¿Qué temperatura tiene ahora el gas en grados Celsius? Suponga que el volumen del tanque es constante. b) Si la temperatura se mantiene en el valor determinado en el inciso a) y el gas se comprime, ¿qué volumen tendrá cuando la presión vuelva a ser de 3.00 atm?

18.7. Un Jaguar XK8 convertible tiene un motor de ocho cilindros. Al principio de su carrera de compresión, uno de los cilindros contiene 499 cm³ de aire a presión atmosférica (1.01×10^5 Pa) y temperatura de 27.0 °C. Al final de la carrera, el aire se ha comprimido a un volumen de 46.2 cm³ y la presión manométrica aumentó a 2.72×10^6 Pa. Calcule la temperatura final.

18.13. El volumen pulmonar total de una estudiante de física es de 6.00 L. Ella llena sus pulmones con aire a una presión absoluta de 1.00 atm y luego, deteniendo la respiración, comprime su cavidad torácica para reducir su volumen pulmonar a 5.70 L. ¿A qué presión está ahora el aire en sus pulmones? Suponga que la temperatura del aire no cambia.

18.21. A una altura de 11,000 m (altura de crucero de un avión de reacción comercial), la temperatura del aire es de -56.5 °C y su densidad es de 0.364 kg/m³. Determine la presión de la atmósfera a esa altura. (Nota: la temperatura a esta altura no es la misma que en la superficie, así que no puede usarse el cálculo del ejemplo 18.4 de la sección 18.1.)

18.22. Una molécula orgánica grande tiene una masa de 1.41×10^{-21} kg. Calcule la masa molar de este compuesto.

18.27. ¿Cuántos moles hay en un frasco con 1.00 kg de agua? ¿Cuántas moléculas? La masa molar del agua es de 18.0 g/mol.

18.33. Tenemos dos cajas del mismo tamaño, A y B. Cada caja contiene gas que se comporta como gas ideal. Insertamos un termómetro en cada caja y vemos que el gas de la caja A está a 50 °C, mientras que el de la caja B está a 10 °C. Esto es todo lo que sabemos acerca del gas contenido en las cajas. ¿Cuáles de las siguientes afirmaciones *deben* ser verdad? ¿Cuáles *podrían* ser verdad? a) La presión en A es mayor que en B. b) Hay más moléculas en A que en B. c) A y B no pueden contener el mismo tipo de gas. d) Las moléculas en A tienen en promedio más energía cinética por molécula que las de B. e) Las moléculas en A se mueven con mayor rapidez que las de B. Explique en qué basó sus respuestas.

18.37. a) El oxígeno (O₂) tiene una masa molar de 32.0 g/mol. Calcule la energía cinética de traslación media de una molécula de oxígeno a 300 K. b) Calcule el valor medio del cuadrado de su rapidez. c) Calcule su rapidez eficaz. d) Calcule la cantidad de movimiento de una molécula de oxígeno que viaja con esta rapidez. e) Suponga que una molécula de oxígeno que viaja con esta rapidez rebota entre los costados opuestos de un recipiente cúbico de 0.10 m por lado. ¿Qué fuerza media ejerce sobre cada una de las paredes del recipiente? (Suponga que la velocidad de la molécula es perpendicular a los dos costados que golpea.) f) Calcule la fuerza media por unidad de área. g) ¿Cuántas moléculas de oxígeno con esta rapidez se necesitan para producir una presión media de 1 atm? h) Calcule el número de moléculas de oxígeno contenidas realmente en un recipiente de este tamaño a 300 K y presión atmosférica. i) Su respuesta al inciso h) deberá ser 3 veces mayor que su respuesta en g). ¿Cuál es el origen de esta discrepancia?

18.44. a) Calcule la capacidad calorífica específica a volumen constante del vapor de agua, suponiendo que la molécula triatómica no lineal tiene tres grados de libertad de traslación y tres rotacionales y que el movimiento vibracional no contribuye. La masa molar del agua es 18.0 g/mol. b) La capacidad calorífica real del vapor de agua a baja presión es de cerca de 2000 J/kg · K. Compare esto con su cálculo y comente el papel real del movimiento vibracional.

***18.46.** Para nitrógeno gaseoso (N₂), ¿cuál debe ser la temperatura si la rapidez del 94.7% de las moléculas es menor que a) 1500 m/s; b) 1000 m/s; c) 500 m/s? Use la tabla 18.2. La masa molar del N₂ es 28.0 g/mol.

18.50. Las abullonadas nubes cúmulo, compuestas por gotitas de agua, se forman a baja altura en la atmósfera. Las tenues nubes cirrus, compuestas por cristales de hielo, se forman a mayor altura. Determine la altura y (medida con respecto al nivel del mar) por arriba de la cual sólo puede haber nubes cirrus. En un día típico y a alturas de menos de 11 km, la temperatura a una altura y está dada por $T = T_0 - \alpha y$, donde $T_0 = 15.0$ °C y $\alpha = 6.0$ °C/1000 m.

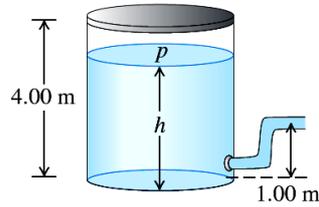
18.52. Un físico coloca un trozo de hielo a 0.00 °C y un vaso de agua a 0.00 °C dentro de una caja de vidrio, cierra la tapa y extrae todo el aire de la caja. Si el hielo, agua y recipiente se mantienen a 0.00 °C, describa el estado de equilibrio final dentro de la caja.

18.56. Durante una inmersión de prueba en 1939 antes de ser aceptado por la armada de Estados Unidos, el submarino *Squalus* se hundió en un punto donde la profundidad del agua era de 73.0 m. La temperatura en la superficie era de 27.0 °C, y en el fondo, 7.0 °C. La densidad del agua de mar es de 1030 kg/m³. a) Se usó una campana de inmersión con forma de cilindro circular de 2.30 m de altura, abierto abajo y cerrado arriba, para rescatar a 33 tripulantes atrapados en el *Squalus*. Al bajar la campana al fondo, ¿a qué altura subió el agua dentro de la campana? (Sugerencia: puede despreciarse la relativamente pequeña variación en la presión del agua entre el fondo de la campana y la superficie del agua dentro de la campana.) b) ¿Con qué presión manométrica debió haberse suministrado aire comprimido a la campana en el fondo para expulsar de ella toda el agua?

18.59. Un neumático de automóvil tiene un volumen de 0.0150 m^3 en un día frío cuando la temperatura del aire en el neumático es de $5.0 \text{ }^\circ\text{C}$ y la presión atmosférica es de 1.02 atm . En estas condiciones, la presión manométrica en el neumático es de 1.70 atm . Después de 30 min de viajar en carretera, la temperatura del aire en los neumáticos ha aumentado a $45.0 \text{ }^\circ\text{C}$, y el volumen a 0.0159 m^3 . Determine la presión manométrica ahora.

18.63. Un tanque grande de agua tiene una manguera conectada como se ilustra en la figura 18.29. El tanque está sellado por arriba y tiene aire comprimido entre la superficie del agua y la tapa. Cuando la altura del agua h es de 3.50 m , la presión absoluta p del aire comprimido es de $4.20 \times 10^5 \text{ Pa}$. Suponga que ese aire se expande a temperatura constante, y considere que la presión atmosférica es $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$. *a)* ¿Con qué rapidez sale agua por la manguera cuando $h = 3.50 \text{ m}$? *b)* Al salir agua del tanque, h disminuye. Calcule la rapidez de flujo para $h = 3.00 \text{ m}$ y $h = 2.00 \text{ m}$. *c)* ¿En qué valor de h se detiene el flujo?

Figura 18.29 Problema 18.63



18.75. La rapidez de propagación de una onda de sonido en aire a $27 \text{ }^\circ\text{C}$ es de 350 m/s . Para comparar, calcule *a)* v_{rms} para las moléculas de nitrógeno y *b)* el valor eficaz de v_x a esta temperatura. La masa molar del nitrógeno (N_2) es 28.0 g/mol .

PRÁCTICA 3

Primera Ley de la Termodinámica.

P19.2. No es correcto decir que un cuerpo contiene cierta cantidad de calor; no obstante, un cuerpo puede transferir calor a otro. Entonces, ¿cómo un cuerpo cede algo que no tiene?

P19.9. Imagine un gas constituido exclusivamente por electrones con carga negativa. Las cargas iguales se repelen, así que los electrones ejercen fuerzas de repulsión entre sí. ¿Cabría esperar que la temperatura de semejante gas aumentara, disminuyera o se mantuviera igual durante una expansión libre? ¿Por qué?

P19.11. Si soplamos sobre el dorso de nuestra mano con la boca bien abierta, el aliento se siente tibio. En cambio, si cerramos parcialmente la boca como para pronunciar una “o” y soplamos sobre la mano, el aliento se siente fresco. ¿Por qué?

P19.19. En un proceso a volumen constante, $dU = nC_v dT$. En cambio, en un proceso a presión constante, no se cumple que $dU = nC_p dT$. ¿Por qué no?

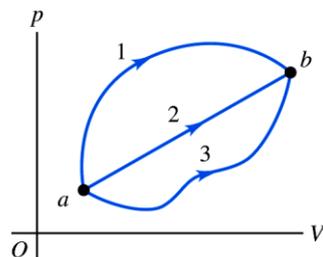
P19.20. Cuando un gas se comprime adiabáticamente contra el aire circundante, su temperatura aumenta aunque no fluya calor hacia el gas. ¿De dónde proviene la energía que eleva la temperatura?

19.1. Dos moles de gas ideal se calientan a presión constante desde $T = 27^\circ\text{C}$ hasta 107°C . a) Dibuje una gráfica pV para este proceso. b) Calcule el trabajo efectuado por el gas.

19.6. Un gas se somete a dos procesos. En el primero, el volumen permanece constante en 0.200 m^3 y la presión aumenta de $2.00 \times 10^5\text{ Pa}$ a $5.00 \times 10^5\text{ Pa}$. El segundo proceso es una compresión a un volumen de 0.120 m^3 , a presión constante de $5.00 \times 10^5\text{ Pa}$. a) Muestre ambos procesos en una gráfica pV . b) Calcule el trabajo total efectuado por el gas durante los dos procesos.

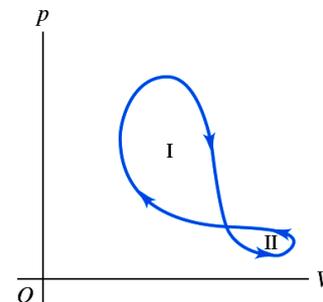
19.16. Un sistema se lleva del estado a al b por las tres trayectorias de la figura 19.23. a) ¿Por qué trayectoria el trabajo efectuado por el sistema es máximo? ¿Y menor? b) Si $U_b > U_a$, ¿por cuál trayectoria es mayor el valor absoluto $|Q|$ de la transferencia de calor? En esa trayectoria, ¿el sistema absorbe o desprende calor?

Figura 19.23 Ejercicio 19.16.



19.17. Un sistema termodinámico sufre un proceso cíclico como se muestra en la figura 19.24. El ciclo consiste en dos lazos cerrados, el lazo I y el lazo II. a) Durante un ciclo completo, ¿el sistema efectúa trabajo positivo o negativo? b) En cada lazo, I y II, ¿el trabajo neto efectuado por el sistema es positivo o negativo? c) Durante un ciclo completo, ¿entra calor en el sistema o sale de él? d) En cada lazo, I y II, ¿entra calor en el sistema o sale de él?

Figura 19.24 Ejercicio 19.17.



19.19. Agua en ebullición a alta presión. Cuando se hierve agua a una presión de 2.00 atm , el calor de vaporización es de $2.20 \times 10^6\text{ J/kg}$ y el punto de ebullición es de 120°C . A esta presión, 1.00 kg de agua tiene un volumen de $1.00 \times 10^{-3}\text{ m}^3$, y 1.00 kg de vapor de agua tiene un volumen de 0.824 m^3 . a) Calcule el trabajo efectuado cuando se forma 1.00 kg de vapor de agua a esta temperatura. b) Calcule el incremento en la energía interna del agua.

19.20. Durante una compresión isotérmica de gas ideal, es preciso extraer 335 J de calor al gas para mantener la temperatura constante. ¿Cuánto trabajo efectúa el gas durante el proceso?

19.23. En un experimento para simular las condiciones dentro de un motor de automóvil, 0.185 moles de aire a una temperatura de 780 K y a una presión de $3.00 \times 10^6\text{ Pa}$ están contenidos en un cilindro cuyo volumen es de 40.0 cm^3 . Después se transfieren 645 J de calor al cilindro. a) Si el volumen del cilindro se mantiene fijo, ¿qué temperatura final alcanza el aire? Suponga que el aire es prácticamente nitrógeno puro y use los datos de la tabla 19.1 aunque la presión no sea baja. Dibuje una gráfica pV para este proceso. b) Calcule la temperatura final del aire, si se permite que el volumen del cilindro aumente mientras la presión se mantiene constante. Dibuje una gráfica pV para este proceso.

19.29. La temperatura de 0.150 moles de gas ideal se mantiene constante en 77.0°C mientras su volumen se reduce al 25.0% de su volumen inicial. La presión inicial del gas es de 1.25 atm . a) Determine el trabajo efectuado por el gas. b) Determine el cambio de energía interna. c) ¿El gas intercambia calor con su entorno? Si lo hace, ¿cuánto es? ¿El gas absorbe o desprende calor?

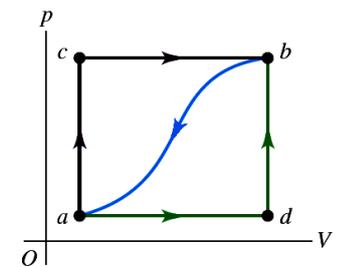
19.30. Propano (C_3H_8) gaseoso se comporta como gas ideal con $\gamma = 1.127$. Determine la capacidad calorífica molar a volumen constante y a presión constante.

19.34. El motor de un automóvil deportivo Ferrari F355 admite aire a 20.0°C y 1.00 atm y lo comprime adiabáticamente a 0.0900 veces el volumen original. El aire se puede tratar como gas ideal con $\gamma = 1.40$. a) Dibuje una gráfica pV para este proceso. b) Calcule la temperatura y presión finales.

19.37. Durante una expansión adiabática, la temperatura de 0.450 moles de argón (Ar) baja de 50.0°C a 10.0°C . El argón puede tratarse como gas ideal. a) Dibuje una gráfica pV para este proceso. b) ¿Cuánto trabajo realiza el gas? c) ¿Cuánto cambia la energía interna del gas?

19.43. Cuando un sistema se lleva del estado a al b por la trayectoria acb (figura 19.28), 90.0 J de calor entran en el sistema y éste efectúa 60.0 J de trabajo. a) ¿Cuánto calor entra en el sistema por la trayectoria adb si el trabajo efectuado por el sistema es de 15.0 J ? b) Cuando el sistema regresa de b a a siguiendo la trayectoria curva, el valor absoluto del trabajo efectuado por el sistema es de 35.0 J . ¿El sistema absorbe o desprende calor? ¿Cuánto? c) Si $U_a = 0$ y $U_b = 8.0\text{ J}$, ¿cuánto calor se absorbe en los procesos ad y db ?

Figura 19.28 Problema 19.43.



19.50. Nitrógeno gaseoso en un recipiente expandible se enfría de 50.0°C a 10.0°C manteniendo constante la presión en $3.00 \times 10^5\text{ Pa}$. El calor total desprendido por el gas es de $2.50 \times 10^4\text{ J}$. Suponga que el gas tiene comportamiento ideal. a) Calcule el número de moles del gas. b) Calcule el cambio de energía interna del gas. c) Calcule el trabajo efectuado por el gas. d) ¿Cuánto calor desprendería el gas con el mismo cambio de temperatura si el volumen fuera constante?

19.55. Proceso termodinámico en un insecto. El escarabajo bombardero africano *Stenaptinus insignis* puede emitir un chorro de líquido repelente por la punta móvil de su abdomen (figura 19.32). El cuerpo del insecto tiene depósitos de dos sustancias; cuando se molesta el escarabajo, las sustancias se combinan en una cámara de reacción, produciendo un compuesto que se calienta de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ por el calor de reacción. La elevada presión que se genera permite expulsar el compuesto con una rapidez de hasta 19 m/s (68 km/h) para asustar a depredadores de todo tipo. (El escarabajo que se muestra en la figura mide 2 cm a lo largo.) Calcule el calor de reacción de las dos sustancias (en J/kg). Suponga que el calor específico de las dos sustancias y del producto es igual al del agua, $4.19 \times 10^3\text{ J/kg} \cdot \text{K}$, y que la temperatura inicial de las sustancias es de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 19.32 Problema 19.55.



19.66. Comparación de procesos termodinámicos. En un cilindro, 1.20 moles de un gas monoatómico con comportamiento ideal, a $3.60 \times 10^5\text{ Pa}$ y 300 K , se expande hasta triplicar su volumen. Calcule el trabajo efectuado por el gas, si la expansión es *a*) isotérmica, *b*) adiabática, *c*) isobárica. *d*) Muestre cada proceso en una gráfica pV . ¿En qué caso es máximo el valor absoluto del trabajo efectuado por el gas? ¿Y mínimo? *e*) ¿En qué caso es máximo el valor absoluto de la transferencia de calor? ¿Y mínimo? *f*) ¿En qué caso es máximo el valor absoluto del cambio de energía interna del gas? ¿Y mínimo?

PRÁCTICA 4

Segunda Ley de la Termodinámica.

P20.2. Cite dos ejemplos de procesos reversibles y dos de procesos irreversibles en sistemas puramente mecánicos, como bloques que se deslizan por planos, resortes, poleas y cuerdas. Explique qué hace a cada proceso reversible o irreversible.

P20.6. Convertir energía mecánica totalmente en calor, ¿viola la segunda ley de la termodinámica? ¿Y convertir calor totalmente en trabajo? Explique.

P20.9. Si un trapo mojado se cuelga en el desierto, donde hay viento caliente, se enfría por evaporación a una temperatura hasta $20\text{ }^\circ\text{C}$ menor que la del aire. Analice esto a la luz de la segunda ley de la termodinámica.

P20.13. ¿Qué eficiencia tendría una máquina de Carnot que opera con $T_H = T_C$? ¿Y si $T_C = 0\text{ K}$ y T_H fuera cualquier temperatura mayor que 0 K ? Interprete sus respuestas.

P20.19. ¿La Tierra y el Sol están en equilibrio térmico? Hay cambios de entropía asociados a la transmisión de energía del Sol a la Tierra? ¿La radiación es diferente de otros modos de transferencia de calor con respecto a los cambios de entropía? Explique su razonamiento.

20.3. Motor de gasolina. Un motor de gasolina recibe $1.61 \times 10^4\text{ J}$ de calor y produce 3700 J de trabajo por ciclo. El calor proviene de quemar gasolina que tiene un calor de combustión de $4.60 \times 10^4\text{ J/g}$. a) Calcule la eficiencia térmica. b) ¿Cuánto calor se desecha en cada ciclo? c) ¿Qué masa de gasolina se quema en cada ciclo? d) Si el motor opera a 60.0 ciclos/s, determine su salida de potencia en kilowatts y en hp.

20.7. ¿Qué razón de compresión debe tener un ciclo Otto para alcanzar una eficiencia ideal del 65.0% si $\gamma = 1.40$?

20.12. Un congelador tiene un coeficiente de rendimiento de 2.40 , y debe convertir 1.80 kg de agua a $25.0\text{ }^\circ\text{C}$ en 1.80 kg de hielo a $-5.0\text{ }^\circ\text{C}$ en una hora. a) ¿Cuánto calor es necesario extraer del agua a $25.0\text{ }^\circ\text{C}$ para convertirla en hielo a $-5.0\text{ }^\circ\text{C}$? b) ¿Cuánta energía eléctrica consume el congelador en esa hora? c) ¿Cuánto calor de desecho (expulsado) fluye al cuarto donde está el congelador?

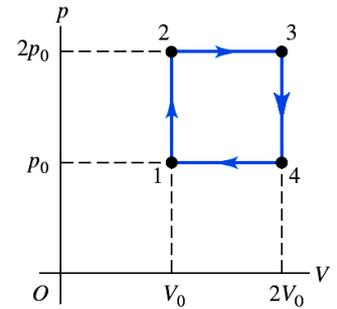
20.14. Una máquina de Carnot opera entre dos fuentes de calor a 520 K y 300 K . a) Si el motor recibe 6.45 kJ de calor de la fuente a 520 K en cada ciclo, ¿cuántos joules por ciclo cede a la fuente a 300 K ? b) ¿Cuánto trabajo mecánico realiza la máquina en cada ciclo? c) Determine la eficiencia térmica de la máquina.

20.24. a) Demuestre que la eficiencia e de una máquina de Carnot y el coeficiente de rendimiento K de un refrigerador de Carnot tienen la relación $K = (1 - e)/e$. La máquina y el refrigerador operan entre las mismas fuentes caliente y fría. b) Calcule K para los valores límite $e \rightarrow 1$ y $e \rightarrow 0$. Explique.

20.28. Usted prepara té con 0.250 kg de agua a $85.0\text{ }^\circ\text{C}$ y lo deja enfriar a temperatura ambiente ($20.0\text{ }^\circ\text{C}$) antes de beberlo. a) Calcule el cambio de entropía del agua mientras se enfría. b) En esencia, el proceso de enfriamiento es isotérmico para el aire en su cocina. Calcule el cambio de entropía del aire mientras el té se enfría, suponiendo que todo el calor que pierde el agua va al aire. ¿Cuál es el cambio total de entropía del sistema constituido por té + aire?

***20.36.** Un solitario globo de una fiesta con un volumen de 2.40 L y que contiene 0.100 moles de aire se deja a la deriva en la Estación Espacial Internacional, temporalmente inhabitada y despresurizada. La luz solar que pasa por una ventanilla incide sobre el globo y hace que explote provocando que el aire en su interior experimente una expansión libre en la estación vacía, cuyo volumen total es de 425 m^3 . Calcule el cambio de entropía del aire durante la expansión.

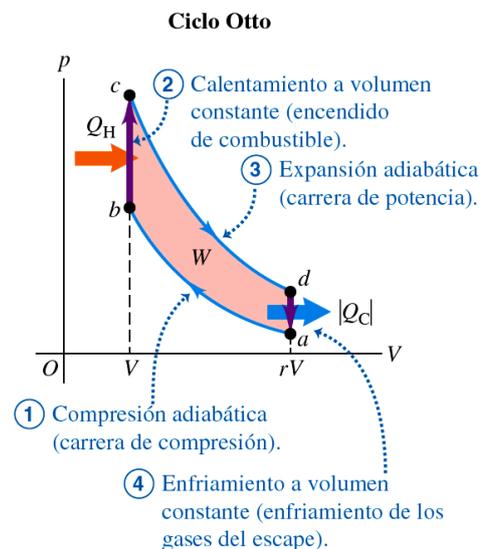
Figura 20.27 Problema 20.46.



20.46. Calcule la eficiencia térmica de una máquina que opera sometiendo n moles de gas ideal diatómico al ciclo $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ que se muestra en la figura 20.27.

20.59. a) Para el ciclo Otto de la figura 20.6, calcule los cambios de entropía del gas en cada uno de los procesos a volumen constante $b \rightarrow c$ y $d \rightarrow a$ en términos de las temperaturas T_a, T_b, T_c y T_d , el número de moles n y la capacidad calorífica C_V del gas. b) Calcule el cambio total de entropía en el motor durante un ciclo. (Sugerencia: use la relación entre T_a y T_b y entre T_d y T_c .) c) Los procesos $b \rightarrow c$ y $d \rightarrow a$ se efectúan irreversiblemente en un motor Otto real. Explique cómo puede conciliarse esto con el resultado del inciso b).

20.6 Diagrama pV del ciclo Otto, un modelo idealizado de los procesos termodinámicos de un motor de gasolina.



PRÁCTICA 5

Ondas mecánicas.

P15.4. La amplitud de una onda disminuye gradualmente a medida que la onda viaja por una cuerda larga y estirada. ¿Qué sucede con la energía de la onda en ese caso?

P15.7. ¿Es posible tener una onda longitudinal en una cuerda estirada? ¿Por qué? ¿Es posible tener una onda transversal en una varilla de acero? ¿Por qué? En caso de una respuesta afirmativa, explique cómo crearía tal onda.

P15.10. En el caso de ondas transversales en una cuerda, ¿la rapidez de la onda es la misma que la rapidez de cualquier parte de la cuerda? Explique la diferencia entre ambas rapidezces. ¿Cuál es constante?

P15.14. Dos cuerdas con diferente masa por unidad de longitud μ_1 y μ_2 se unen y se estiran con una tensión F . Una onda viaja por la cuerda y pasa por la discontinuidad de μ . Indique cuáles de las siguientes propiedades de la onda serán iguales a ambos lados de la discontinuidad y cuáles cambiarán: rapidez de la onda, frecuencia, longitud de onda. Justifique físicamente cada respuesta.

P15.18. Podemos transferir energía por una cuerda con un movimiento ondulatorio; sin embargo, en una onda estacionaria en una cuerda nunca podremos transferir energía más allá de un nodo. ¿Por qué?

P15.23. Como vimos en la sección 15.1, las olas en el agua son una combinación de ondas longitudinales y transversales. Defienda la siguiente afirmación: "Cuando las olas chocan contra una pared vertical, ese punto es un nodo del desplazamiento longitudinal, pero un antinodo del desplazamiento transversal".

15.1. La rapidez del sonido en aire a 20°C es de 344 m/s . *a)* Calcule la longitud de onda de una onda sonora con frecuencia de 784 Hz , que corresponde a la nota sol de la quinta octava de un piano, y cuántos milisegundos dura cada vibración. *b)* Calcule la longitud de onda de una onda sonora una octava más alta que la nota del inciso *a)*.

15.2. Sonido audible. Siempre que la amplitud sea lo suficientemente grande, el oído humano puede responder a ondas longitudinales dentro de un intervalo de frecuencias que aproximadamente va de los 20.0 Hz a los 20.0 kHz . *a)* Si usted tuviera que marcar el comienzo de cada patrón de onda completo con un punto rojo para el sonido de longitud de onda larga y con un punto azul el sonido de longitud de onda corta, ¿qué distancia habría entre los puntos rojos y qué distancia habría entre los puntos azules? *b)* En realidad, ¿los puntos adyacentes en cada conjunto estarían suficientemente alejados para que usted pudiera medir fácilmente su distancia de separación con una cinta métrica? *c)* Suponga que repite el inciso *a)* en agua, donde el sonido viaja a 1480 m/s . ¿Qué tan alejados estarían los puntos en cada conjunto? ¿Podría medir fácilmente su separación con una cinta métrica?

15.7. Ciertas ondas transversales en una cuerda tienen rapidez de 8.00 m/s , amplitud de 0.0700 m y longitud de onda de 0.320 m . Las ondas viajan en la dirección $-x$, y en $t = 0$ el extremo $x = 0$ de la cuerda tiene su máximo desplazamiento hacia arriba. *a)* Calcule la frecuencia, el periodo y el número de onda de estas ondas. *b)* Escriba una función de onda que describa la onda. *c)* Calcule el desplazamiento transversal de una partícula en $x = 0.360\text{ m}$ en el tiempo $t = 0.150\text{ s}$. *d)* ¿Cuánto tiempo debe pasar después de $t = 0.150\text{ s}$ para que la partícula en $x = 0.360\text{ m}$ vuelva a tener su desplazamiento máximo hacia arriba?

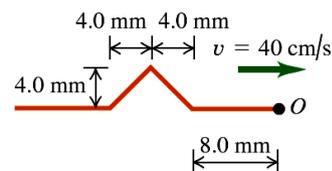
15.10. *a)* Para una onda en una cuerda descrita por $y(x, t) = A \cos(kx - \omega t)$, *a)* grafique y , v_y y a_y en función de x para $t = 0$. *b)* Considere los siguientes puntos de la cuerda: i) $x = 0$; ii) $x = \pi/4k$; iii) $x = \pi/2k$; iv) $x = 3\pi/4k$; v) $x = \pi/k$; vi) $x = 5\pi/4k$; vii) $x = 3\pi/2k$; viii) $x = 7\pi/4k$. Para una partícula en cada uno de estos puntos en $t = 0$, indique con palabras si la partícula se está moviendo y en qué dirección, y si se está acelerando, frenando o tiene aceleración instantánea cero.

15.15. Un extremo de una cuerda horizontal se conecta a una punta de un diapason eléctrico que vibra a 120 Hz . El otro extremo pasa por una polea y sostiene una masa de 1.50 kg . La densidad lineal de masa de la cuerda es de 0.0550 kg/m . *a)* ¿Qué rapidez tiene una onda transversal en la cuerda? *b)* ¿Qué longitud de onda tiene? *c)* ¿Cómo cambian las respuestas a los incisos *a)* y *b)*, si la masa se aumenta a 3.00 kg ?

15.24. Imagine que un compañero con dotes matemáticas le dice que la función de onda de una onda viajera en una cuerda delgada es $y(x, t) = 2.30\text{ mm} \cos[(6.98\text{ rad/m})x + (742\text{ rad/s})t]$. Usted, que es una persona más práctica, efectúa mediciones y determina que la cuerda tiene una longitud de 1.35 m y una masa de 0.00338 kg . Ahora le piden determinar lo siguiente: *a)* amplitud; *b)* frecuencia; *c)* longitud de onda; *d)* rapidez de la onda; *e)* dirección en que viaja la onda; *f)* tensión en la cuerda; *g)* potencia media transmitida por la onda.

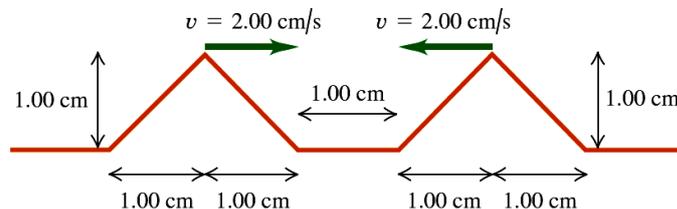
15.26. Reflexión. Un pulso de onda en una cuerda tiene las dimensiones que se muestran en la figura 15.31 en $t = 0$. La rapidez de la onda es de 40 cm/s . *a)* Si el punto O es un extremo fijo, dibuje la onda total en $t = 15\text{ ms}$, 20 ms , 25 ms , 30 ms , 35 ms , 40 ms y 45 ms . *b)* Repita el inciso *a)* para el caso en que O es un extremo libre.

Figura 15.31 Ejercicio 15.26.



15.28. Interferencia de pulsos triangulares. Dos pulsos ondulatorios triangulares viajan uno hacia el otro por una cuerda estirada, como se muestra en la figura 15.33. Los pulsos son idénticos y viajan a 2.00 cm/s . Los bordes delanteros de los pulsos están separados 1.00 cm en $t = 0$. Dibuje la forma de la cuerda en $t = 0.250\text{ s}$, $t = 0.500\text{ s}$, $t = 0.750\text{ s}$, $t = 1.000\text{ s}$ y $t = 1.250\text{ s}$.

Figura 15.33 Ejercicio 15.28.



15.41. La forma de una cuerda delgada tensa que está atada por ambos extremos y oscila en su tercer armónico se describe con la ecuación $y(x, t) = (5.60\text{ cm})\sin[(0.0340\text{ rad/cm})x]\sin[(50.0\text{ rad/s})t]$, donde el origen está en el extremo izquierdo de la cuerda, el eje x está a lo largo de la cuerda y el eje y es perpendicular a la cuerda. *a)* Dibuje el patrón de onda estacionaria. *b)* Calcule la amplitud de las dos ondas viajeras que constituyen esta onda estacionaria. *c)* ¿Qué longitud tiene la cuerda? *d)* Calcule la longitud de onda, la frecuencia, el periodo y la rapidez de las ondas viajeras. *e)* Calcule la rapidez transversal máxima de la cuerda. *f)* ¿Qué ecuación $y(x, t)$ tendría esta cuerda si vibrara en su octavo armónico?

15.47. Cuerda de guitarra. Una de las cuerdas de 63.5 cm de una guitarra ordinaria se afina para producir la nota B₃ (frecuencia de 245 Hz) vibrando en su modo fundamental. a) Calcule la rapidez de las ondas transversales en esta cuerda. b) Si la tensión de la cuerda se aumenta en 1.0%, ¿cuál será su nueva frecuencia fundamental? c) Si la rapidez del sonido en el aire circundante es de 344 m/s, ¿cuánto valdrán la frecuencia y la longitud de onda de la onda sonora producida en el aire por la vibración de esta cuerda? Compárelas con f y ω de la onda estacionaria en la cuerda.

15.55. Cuando hay una onda transversal senoidal en una cuerda, las partículas de la cuerda están en MAS. Éste es el mismo movimiento que el de una masa m unida a un resorte ideal con constante de fuerza k' , cuya frecuencia angular de oscilación (como determinamos en el capítulo 13) es $\omega = \sqrt{k'/m}$. Considere una cuerda con tensión F y masa por unidad de longitud μ por la cual se propaga una onda senoidal con amplitud A y longitud de onda λ . a) Calcule la “constante de fuerza” k' de la fuerza de restitución que actúa sobre un segmento corto de la cuerda con longitud Δx (donde $\Delta x \ll \lambda$). b) Determine la dependencia de la “constante de fuerza” calculada en a) con respecto a F , μ , A y λ . Explique las razones físicas de tal dependencia.

15.61. Ondas de forma arbitraria. a) Explique por qué *cualquier* onda descrita por una función de la forma $y(x, t) = f(x - vt)$ se mueve en la dirección $+x$ con rapidez v . b) Demuestre que $y(x, t) = f(x - vt)$ satisface la ecuación de onda, sea cual fuere la forma funcional de f . Para hacerlo, escriba $y(x, t) = f(u)$, donde $u = x - vt$. Luego, para derivar parcialmente $y(x, t)$, use la regla de la cadena:

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = \frac{df(u)}{du} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{df(u)}{du} (-v)$$

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial x} = \frac{df(u)}{du} \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{df(u)}{du}$$

c) Una pulsación de onda está descrita por $y(x, t) = De^{-(Bx - Ct)^2}$, donde B , C y D son constantes positivas. Calcule la rapidez de esta onda.

15.62. La ecuación (15.7) para una onda senoidal puede hacerse más general incluyendo un ángulo de fase ϕ , donde $0 \leq \phi \leq 2\pi$ (en radianes), de modo que la función de onda $y(x, t)$ se convierte en

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \phi)$$

a) Dibuje la onda en función de x en $t = 0$ para $\phi = 0$, $\phi = \pi/4$, $\phi = \pi/2$, $\phi = 3\pi/4$ y $\phi = 3\pi/2$. b) Calcule la velocidad transversal $v_y = \partial y / \partial t$. c) En $t = 0$, una partícula de la cuerda que está en $x = 0$ tiene un desplazamiento de $y = A/\sqrt{2}$. ¿Basta esta información para determinar el valor de ϕ ? Si además sabemos que una partícula en $x = 0$ se mueve hacia $y = 0$ en $t = 0$, ¿qué valor tiene ϕ ? d) Explique en una forma general qué debe saber acerca del comportamiento de la onda en un instante dado, para determinar el valor de ϕ .

15.65. Una onda senoidal transversal viaja por una cuerda de longitud 8.00 m y masa 6.00 g. Su rapidez es de 30.0 m/s y su longitud de onda es de 0.200 m. a) ¿Qué amplitud debe tener la onda para que su potencia media sea de 50.0 W? b) En esta misma cuerda, si la amplitud y la longitud de onda son las del inciso a), ¿qué potencia media tendrá la onda si la tensión se aumenta de modo que la rapidez de la onda sea el doble?

15.74. Una cuerda con ambos extremos fijos está vibrando en su tercer armónico. Las ondas tienen una rapidez de 192 m/s y una frecuencia de 240 Hz. La amplitud de la onda estacionaria en un antinodo es de 0.400 cm. a) Calcule la amplitud del movimiento de puntos de la cuerda a una distancia de i) 40.0 cm; ii) 20.0 cm; y iii) 10.0 cm del extremo izquierdo de la cuerda. b) En cada uno de los puntos del inciso a), ¿cuánto tiempo tarda la cuerda en ir de su desplazamiento más grande hacia arriba, hasta su desplazamiento más grande hacia abajo? c) Calcule la velocidad y la aceleración transversales máximas de la cuerda en cada uno de los puntos del inciso a).

15.79. Afinación de un violonchelo. Una violonchelista afina la cuerda C de su instrumento a una frecuencia fundamental de 65.4 Hz. La porción vibrante de la cuerda tiene una longitud de 0.600 m y una masa de 14.4 g. a) ¿Con qué tensión debe estirarse? b) ¿Qué porcentaje se debe aumentar la tensión para elevar la frecuencia de 65.4 Hz a 73.4 Hz, correspondiente a un aumento de tono de C a D?

PRÁCTICA 6

Ondas de sonido.

P16.1. Cuando el sonido viaja del aire al agua, ¿cambia la frecuencia de la onda? ¿La rapidez? ¿Y la longitud de onda? Explique su razonamiento.

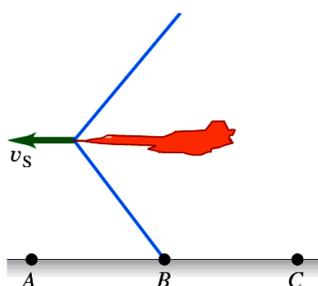
P16.3. ¿El tono (o frecuencia) de un tubo de órgano aumenta o disminuye al aumentar la temperatura? Explique su respuesta.

P16.9. ¿Qué influye de manera más directa sobre el volumen de una onda sonora: la amplitud de *desplazamiento* o la amplitud de *presión*? Explique su razonamiento.

P16.18. Una fuente de sonido y un receptor están en reposo en tierra, pero un viento fuerte sopla de la fuente al receptor. ¿Hay un efecto Doppler? ¿Por qué?

***P16.25.** Un jet vuela a una altitud constante con rapidez constante v_s mayor que la rapidez del sonido. Describa qué oyen los receptores en los puntos A , B y C en el instante que se indica en la figura 16.38, cuando la onda de choque recién llegó al punto B . Explique su razonamiento.

Figura 16.38 Pregunta P16.25.



16.5. *a)* En un líquido con densidad de 1300 kg/m^3 , se determina que ondas longitudinales con frecuencia de 400 Hz tienen una longitud de onda de 8.00 m . Calcule el módulo de volumen del líquido. *b)* Una barra metálica de 1.50 m de longitud tiene una densidad de 6400 kg/m^3 . Las ondas sonoras longitudinales tardan $3.90 \times 10^{-4} \text{ s}$ en llegar de un extremo de la barra al otro. Calcule el módulo de Young del metal.

16.6. Un fuerte terremoto cuyo epicentro está en Loma Prieta, California, cerca de San Francisco, se produjo el 17 de octubre de 1989 a las 5:04 p.m. hora local (en UTC, tiempo universal coordinado, 0h 4m 15s el 18 de octubre de 1989). Sus ondas sísmicas primarias (ondas P) son ondas longitudinales que viajan por la corteza terrestre. Estas ondas se detectaron en Caracas, Venezuela, a las 0h 13m 54s UTC; en Kevo, Finlandia, a las 0h 15m 35s UTC; y en Viena, Austria, a las 0h 17m 02s UTC. Las distancias que las ondas P viajaron desde Loma Prieta fueron de 6280 km a Caracas, 8690 km a Kevo y 9650 km a Viena. *a)* Use los tiempos de llegada para calcular la rapidez media de las ondas P que viajaron a estas tres ciudades. ¿Cómo explica las diferencias entre estos valores? *b)* La densidad media de la corteza terrestre es de aproximadamente 3.3 g/cm^3 . Use este valor para calcular el módulo de volumen de la corteza a lo largo del camino seguido por las ondas P a cada una de las tres ciudades. Compare sus respuestas con los módulos de volumen de la tabla 11.1.

16.15. Ondas longitudinales en diferentes fluidos. *a)* Una onda longitudinal que se propaga en un tubo lleno de agua tiene una intensidad de $3.00 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$ y su frecuencia es de 3400 Hz . Calcule la amplitud A y la longitud de onda λ para esa onda. La densidad del agua es de 1000 kg/m^3 y su módulo de volumen es de $2.18 \times 10^9 \text{ Pa}$. *b)* Si el tubo está lleno con aire a una presión de $1.00 \times 10^5 \text{ Pa}$ y la densidad es de 1.20 kg/m^3 , ¿qué amplitud A y longitud de onda λ tendrá una onda longitudinal con la misma intensidad y frecuencia que en el inciso *a)*? *c)* En qué fluido es mayor la amplitud, ¿en agua o en aire? Calcule la razón entre ambas amplitudes. ¿Por qué no es 1.00 dicha razón?

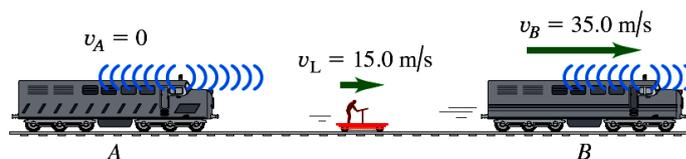
16.16. Deduzca la ecuación (16.14) de las ecuaciones que la preceden.

16.31. Usted sopla al ras de la boca de un tubo de ensayo vacío y produce la onda estacionaria fundamental de la columna de aire de su interior. La rapidez del sonido en aire es de 344 m/s y el tubo actúa como tubo cerrado. *a)* Si la longitud de la columna de aire es de 14.0 cm , ¿qué frecuencia tiene esta onda estacionaria? *b)* Determine la frecuencia de la onda estacionaria fundamental en la columna de aire, si el tubo de ensayo se llena hasta la mitad con agua.

16.40. Dos cuerdas tensas e idénticas, sometidas a la misma tensión F , producen una nota de la misma frecuencia fundamental f_0 . La tensión en una de ellas se incrementa ahora en una cantidad muy pequeña ΔF . *a)* Si se tocan juntas en su fundamental, demuestre que la frecuencia del pulso producida es $f_{\text{pulso}} = f_0 (\Delta F/2F)$. *b)* Dos cuerdas de violín idénticas, cuando están afinadas y estiradas con el mismo grado de tensión, tienen una frecuencia fundamental de 440.0 Hz . Una de las cuerdas se vuelve a afinar aumentando la tensión. Cuando se hace esto, se escuchan 1.5 pulsos por segundo cuando se pulsan ambas cuerdas simultáneamente a la altura de sus centros. ¿En qué porcentaje se modificó la tensión de la cuerda?

16.43. Dos silbatos de tren, A y B , tienen una frecuencia de 392 Hz . A está estacionario y B se mueve a la derecha (alejándose de A) a 35.0 m/s . Un receptor está entre los dos trenes y se mueve a la derecha a 15.0 m/s (figura 16.41). No sopla el viento. Según el receptor, *a)* ¿qué frecuencia tiene A ? *b)* ¿Y B ? *c)* ¿Qué frecuencia del pulso detecta el receptor?

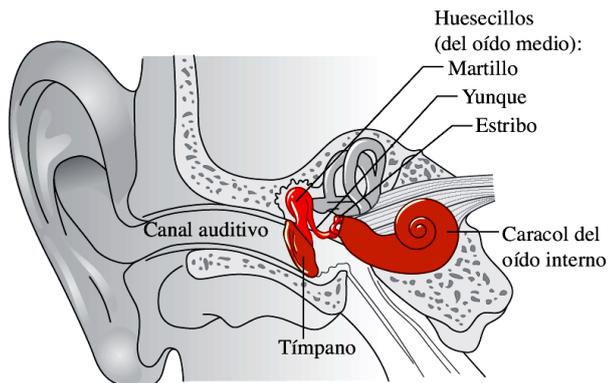
Figura 16.41 Ejercicio 16.43.



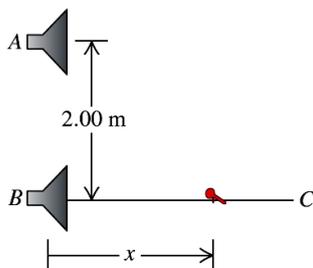
16.46. Fuente móvil y receptor móvil. *a)* Una fuente sonora que produce ondas de 1.00 kHz se mueve hacia un receptor estacionario a la mitad de la rapidez del sonido. ¿Qué frecuencia oír el receptor? *b)* Suponga ahora que la fuente está estacionaria y el receptor se mueve hacia ella a la mitad de la rapidez del sonido. ¿Qué frecuencia oye el receptor? Compare su respuesta con la del inciso *a)* y explique la diferencia con base en principios de la física.

16.66. Oído humano. El canal auditivo del oído humano (figura 16.4) se extiende unos 2.5 cm del oído exterior al tímpano. *a)* Explique por qué el oído humano es especialmente sensible a sonidos con frecuencias cercanas a 3500 Hz . Use $v = 344 \text{ m/s}$. *b)* ¿Esperaría que el oído fuera especialmente sensible a frecuencias cercanas a 7000 Hz ? ¿A $10,500 \text{ Hz}$? ¿Por qué?

16.4 Anatomía del oído humano. El oído medio tiene el tamaño de una canica pequeña; los huesecillos (martillo, yunque y estribo) son los huesos más pequeños del cuerpo humano.



16.70. Dos altavoces idénticos están situados en los puntos A y B , separados 2.00 m. Los altavoces son alimentados por el mismo amplificador y producen ondas sonoras con una frecuencia de 784 Hz. La rapidez del sonido en aire es de 344 m/s. Un micrófono pequeño se aleja del punto B sobre una línea perpendicular a la línea que une a A y B (línea BC en la figura 16.44). **Figura 16.44** Problema 16.70.



$a)$ ¿A qué distancias de B habrá interferencia destructiva?
 $b)$ ¿Y constructiva?
 $c)$ Si la frecuencia es lo bastante baja, no habrá posiciones sobre la línea BC en las que haya interferencia destructiva. ¿Qué tan baja deberá ser la frecuencia para que esto suceda?

16.77. Los murciélagos de herradura (género *Rhinolophus*) emiten sonidos por las fosas nasales y luego escuchan la frecuencia del soni-

do reflejado de su presa para determinar la rapidez de ésta. (La “herradura” que da al animal su nombre es una depresión alrededor de las fosas nasales que actúa como espejo enfocador y permite al animal emitir sonido en un haz angosto, como una linterna.) Un *Rhinolophus* que vuela con una rapidez $v_{\text{murciélago}}$ emite sonidos de frecuencia $f_{\text{murciélago}}$; la frecuencia que oye reflejada de un insecto que vuela hacia él tiene un valor más alto f_{refl} . $a)$ Demuestre que la rapidez del insecto es

$$v_{\text{insecto}} = v \left[\frac{f_{\text{refl}}(v - v_{\text{bat}}) - f_{\text{bat}}(v + v_{\text{bat}})}{f_{\text{refl}}(v - v_{\text{bat}}) + f_{\text{bat}}(v + v_{\text{bat}})} \right]$$

donde v es la rapidez del sonido. $b)$ Si $f_{\text{murciélago}} = 80.7$ kHz, $f_{\text{refl}} = 83.5$ kHz y $v_{\text{murciélago}} = 3.9$ m/s, calcule la rapidez del insecto.

16.78. $a)$ Demuestre que la ecuación (16.30) puede escribirse así:

$$f_R = f_S \left(1 - \frac{v}{c} \right)^{1/2} \left(1 + \frac{v}{c} \right)^{-1/2}$$

$b)$ Use el teorema binomial para demostrar que, si $v \ll c$, esto es aproximadamente igual a

$$f_R = f_S \left(1 - \frac{v}{c} \right)$$

$c)$ Un avión de reconocimiento sin piloto emite una señal de radio cuya frecuencia es de 243 MHz. Está volando directamente hacia un ingeniero de pruebas que está en tierra. El ingeniero detecta pulsos entre la señal recibida y una señal local que también tiene una frecuencia de 243 MHz. La frecuencia del pulso es de 46.0 Hz. Calcule la rapidez del avión. (Las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz, $c = 3.00 \times 10^8$ m/s.)

PRÁCTICA 7

Ondas electromagnéticas.

P32.2. De acuerdo con la ley de Ampère, ¿es posible tener al mismo tiempo una corriente de conducción y una corriente de desplazamiento? ¿Es posible que los efectos de las dos clases de corriente se anulen exactamente, de manera que *no* se genere un campo magnético? Explique su respuesta.

P32.7. El haz de luz de un reflector llega a tener una magnitud de campo eléctrico de 1000 V/m, la cual corresponde a una diferencia de potencial de 1500 V entre la cabeza y los pies de una persona de 1.5 m de estatura iluminada por el reflector. ¿Esto provoca que la persona sienta una descarga eléctrica fuerte? ¿Por qué?

P32.11. Si un haz de luz tiene cantidad de movimiento, ¿una persona que sostiene una linterna de mano debería sentir un retroceso análogo al de un rifle al ser disparado? ¿Por qué no se observa este retroceso en la realidad?

P32.13. ¿Tiene energía una onda electromagnética *estacionaria*? ¿Tiene cantidad de movimiento? ¿Sus respuestas a estas preguntas son las mismas para una onda *viajera*? ¿Por qué?

32.2. Fantasmas en el televisor. En una transmisión de televisión se forman imágenes fantasma cuando la señal de la transmisora viaja al receptor tanto en forma directa como indirecta después de reflejarse en un edificio o alguna otra masa metálica grande. En un televisor de 25 pulgadas, el fantasma aparece aproximadamente 1.0 cm a la derecha de la imagen principal, si la señal reflejada llega 0.60 μ s después de la señal principal. En este caso, ¿cuál es la diferencia de longitud entre las trayectorias de las dos señales?

32.9. Una onda electromagnética tiene un campo eléctrico dado por $\vec{E}(y, t) = -(3.10 \times 10^5 \text{ V/m})\hat{k} \sin[ky - (12.65 \times 10^{12} \text{ rad/s})t]$.

a) ¿En qué dirección viaja la onda? b) ¿Cuál es su longitud de onda? c) Escriba la ecuación vectorial para $\vec{B}(y, t)$.

32.14. Una onda electromagnética con frecuencia de 65.0 Hz viaja en un material magnético aislante que tiene constante dieléctrica de 3.64 y permeabilidad relativa de 5.18 a esta frecuencia. El campo eléctrico tiene una amplitud de 7.20×10^{-3} V/m. a) ¿Cuál es la rapidez de propagación de la onda? b) ¿Cuál es la longitud de onda de la onda? c) ¿Cuál es la amplitud del campo magnético? d) ¿Cuál es la intensidad de la onda?

32.18. Una onda electromagnética sinusoidal de una estación de radio pasa en forma perpendicular a través de una ventana abierta con área de 0.500 m². En la ventana, el campo eléctrico de la onda tiene un valor rms (eficaz) de 0.0200 V/m. ¿Cuánta energía transporta esta onda a través de la ventana durante un comercial de 30.0 s?

32.25. Una fuente de luz intensa irradia uniformemente en todas direcciones. A una distancia de 5.0 m de la fuente, la presión de radiación sobre una superficie perfectamente absorbente es de 9.0×10^{-6} Pa. ¿Cuál es la potencia de salida total media de la fuente?

32.27. Si la densidad de la luz solar directa en cierto punto sobre la superficie de la Tierra es de 0.78 kW/m², calcule a) la densidad de cantidad de movimiento media (cantidad de movimiento por unidad de volumen) de la luz solar, y b) la tasa de flujo media de la cantidad de movimiento de la luz solar.

32.31. Una onda electromagnética estacionaria en cierto material tiene una frecuencia de 2.20×10^{10} Hz. Los planos nodales de \vec{B} están separados por una distancia de 3.55 mm. Determine a) la longitud de onda de la onda en este material; b) la distancia entre planos nodales adyacentes del campo \vec{E} ; c) la rapidez de propagación de la onda.

32.33. Una onda electromagnética estacionaria en cierto material tiene una frecuencia de 1.20×10^{10} Hz y rapidez de propagación de 2.10×10^8 m/s. a) ¿Cuál es la distancia entre un plano nodal de \vec{B} y el plano antinodal más cercano de \vec{B} ? b) ¿Cuál es la distancia entre un plano antinodal de \vec{E} y el plano antinodal más cercano de \vec{B} ? c) ¿Cuál es la distancia entre un plano nodal de \vec{E} y el plano nodal más cercano de \vec{B} ?

32.39. Un satélite que se encuentra a 575 km sobre la superficie terrestre transmite ondas electromagnéticas sinusoidales con frecuencia de 92.4 MHz uniformemente en todas direcciones, con una potencia de 25.0 kW. a) ¿Cuál es la intensidad de estas ondas cuando alcanzan un receptor en la superficie terrestre directamente abajo del satélite? b) ¿Cuáles son las amplitudes de los campos eléctrico y magnético en el receptor? c) Si el receptor tiene un panel totalmente absorbente que mide 15.0 cm por 40.0 cm, orientado con su plano perpendicular a la dirección en que viajan las ondas, ¿cuál es la fuerza media que ejercen estas ondas sobre el panel? ¿Esta fuerza es suficientemente grande para provocar efectos significativos?

32.43. El Sol emite energía en forma de ondas electromagnéticas a razón de 3.9×10^{26} W. Esta energía es producto de reacciones nucleares en las profundidades del interior del Sol. a) Calcule la intensidad de la radiación electromagnética y la presión de radiación sobre un objeto absorbente en la superficie del Sol (radio $r = R = 6.96 \times 10^5$ km), y en $r = R/2$ en el interior del Sol. Ignore la dispersión que sufren las ondas cuando éstas salen radialmente desde el centro del Sol. Compare los resultados con los valores dados en la sección 32.4 para la luz solar inmediatamente antes de entrar a la atmósfera terrestre. b) La presión gaseosa en la superficie del Sol es de alrededor de 1.0×10^4 Pa; en $r = R/2$, la presión gaseosa calculada a partir de modelos del Sol es de aproximadamente 4.7×10^{13} Pa. Comparando con los resultados en el inciso a), ¿sería de esperar que la presión de radiación sea un factor importante para determinar la estructura del Sol? ¿Por qué?

32.49. Una espira circular de alambre se puede utilizar como antena. Si una antena de 18.0 cm de diámetro se localiza a 2.50 km de una fuente con 95.0 MHz y potencia total de 55.0 kW, ¿cuál es la fem máxima inducida en la espira? (Suponga que el plano de la espira de la antena es perpendicular a la dirección del campo magnético de la radiación y que la fuente irradia uniformemente en todas direcciones.)

32.54. La NASA está dando importancia al concepto de *navegación solar*. Un velero solar utiliza una vela grande y de poca masa, y la energía y la cantidad de movimiento de la luz del Sol como elemento de propulsión. a) ¿La vela debe ser absorbente o reflejante? ¿Por qué? b) La producción total de potencia del Sol es de 3.9×10^{26} W. ¿Qué tan grande debe ser una vela para impulsar un vehículo espacial de 10,000 kg contra la fuerza gravitacional del Sol? Expresar su resultado en kilómetros cuadrados. c) Explique por qué la respuesta del inciso b) es independiente de la distancia con respecto al Sol.

PRÁCTICA 8

Naturaleza y propagación de la luz.

P33.2. La luz del Sol o de las estrellas que pasan a través de la atmósfera de la Tierra siempre se desvía hacia la vertical. ¿Por qué? ¿Significa esto que una estrella no se encuentra en realidad donde parece estar? Explique su respuesta.

P33.5. Cuando sale aire caliente de un radiador o un conducto caliente, los objetos tras él parecen vibrar u ondular. ¿Cuál es la causa de esto?

P33.10. Cuando la luz incide en una interfaz entre dos materiales, el ángulo del rayo refractado depende de la longitud de onda, pero el ángulo del rayo reflejado no. ¿Por qué es así?

P33.12. ¿Tiene sentido hablar acerca de la polarización de una onda longitudinal como las del sonido? ¿Por qué?

P33.17. Cuando la luz no polarizada incide en dos polarizadores cruzados, no se transmite luz. Un estudiante afirmó que si se insertaba un tercer polarizador entre los otros dos, habría algo de transmisión. ¿Tiene sentido esto? ¿Cómo podría un tercer filtro *incrementar* la transmisión?

P33.23. La explicación que se dio en la sección 33.6 para el color del Sol cuando se oculta debería aplicarse igualmente al Sol *cuando sale*, ya que la luz solar viaja la misma distancia a través de la atmósfera para llegar a los ojos de un observador durante el amanecer o durante el ocaso; sin embargo, lo común es que los atardeceres sean más rojos que los amaneceres. ¿Por qué? (*Sugerencia:* considere que partículas de todas clases en la atmósfera contribuyen a la dispersión.)

33.5. Un haz de luz viaja a 1.94×10^8 m/s en el cuarzo. La longitud de onda de la luz en el cuarzo es de 355 nm. *a)* ¿Cuál es el índice de refracción del cuarzo a esta longitud de onda? *b)* Si esta misma luz viaja a través del aire, ¿cuál es su longitud de onda?

33.9. Luz que viaja en el aire incide sobre la superficie de un bloque de plástico con un ángulo de 62.7° con respecto a la normal y se desvía de manera que forma un ángulo de 48.1° con la normal en el plástico. Determine la rapidez de la luz en el plástico.

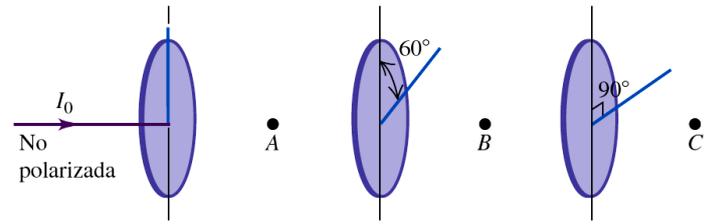
33.14. Demuestre que un rayo de luz reflejado desde un espejo plano gira un ángulo de 2θ cuando el espejo gira un ángulo θ en torno a un eje perpendicular al plano de incidencia.

33.20. Al finalizar la serie de óperas de Wagner que lleva por título *El Anillo de los Nibelungos*, Brunilda quita el anillo de oro del cadáver de Sigfrido y lo arroja al río Rin, donde se va al fondo. Si se supone que el anillo es suficientemente pequeño en comparación con la profundidad del río como para considerarlo un punto, y que el río Rin tiene 10.0 m de profundidad en la parte en que cae la joya, ¿cuál es el área del círculo más grande en la superficie del agua adonde podría llegar luz emitida por el anillo y salir del agua?

33.24. Un haz de luz incide en una hoja de vidrio a un ángulo de 57.0° con respecto a la normal en el aire. Usted observa que la luz roja forma un ángulo de 38.1° con la normal en el vidrio, mientras que la luz violeta forma un ángulo de 36.7° . *a)* ¿Cuáles son los índices de refracción de este vidrio para los colores de luz mencionados? *b)* ¿Cuál es la rapidez de la luz roja y violeta en el vidrio?

33.25. Un haz de luz no polarizada con intensidad I_0 pasa a través de una serie de filtros polarizadores ideales con sus direcciones de polarización giradas en diferentes ángulos, como se aprecia en la figura 33.42. *a)* ¿Cuál es la intensidad de la luz (en términos de I_0) en los puntos A, B y C? *b)* Si se elimina el filtro de en medio, ¿cuál será la intensidad de la luz en el punto C?

Figura 33.42 Ejercicio 33.25.



33.27. Un haz paralelo de luz no polarizada en el aire incide con ángulo de 54.5° (con respecto a la normal) sobre una superficie plana de vidrio. El haz reflejado está linealmente polarizado por completo. *a)* ¿Cuál es el índice de refracción del vidrio? *b)* ¿Cuál es el ángulo de refracción del haz transmitido?

33.28. Luz con intensidad original I_0 pasa a través de dos filtros polarizadores ideales que tienen sus ejes de polarización orientados como se ilustra en la figura 33.43. Se desea ajustar el ángulo ϕ de manera que la intensidad en el punto P sea igual a $I_0/10$. *a)* Si la luz original no está polarizada, ¿cuál debe ser el valor de ϕ ? *b)* Si la luz original está linealmente polarizada en la misma dirección que el eje de polarización del primer polarizador que alcanza la luz, ¿cuánto debe valer ϕ ?

Figura 33.43 Ejercicio 33.28.



33.30. El índice de refracción de cierto vidrio es de 1.66. ¿A qué ángulo de incidencia estará totalmente polarizada la luz que se refleja en la superficie de este vidrio si está inmerso en *a)* aire y *b)* agua?

33.32. Un polarizador y un analizador están orientados de manera que se transmita la cantidad máxima de luz. ¿A qué fracción de su valor máximo se reduce la intensidad de la luz transmitida cuando el analizador se gira *a)* 22.5° , *b)* 45.0° , *c)* 67.5° ?

33.34. Tres filtros polarizadores están apilados con los ejes de polarización del segundo y el tercero a 23.0° y 62.0° , respectivamente, en relación con el eje del primero. Si luz no polarizada incide sobre la pila, la luz tiene una intensidad de 75.0 W/cm² una vez que atraviesa la pila. Si la intensidad de la luz incidente se mantiene constante, ¿cuál es la intensidad de la luz una vez que ha pasado por la pila si se retira el segundo polarizador?

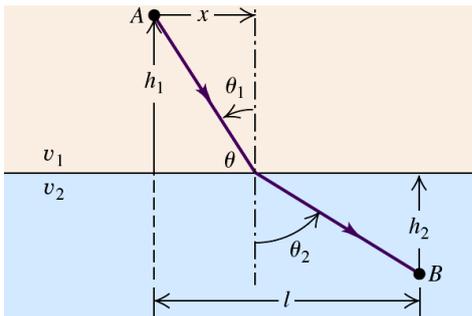
33.48. Un vaso de precipitados con fondo de espejo se llena con un líquido cuyo índice de refracción es 1.63. Un haz luminoso incide en la superficie del líquido a un ángulo de 42.5° con respecto a la normal. ¿A qué ángulo en relación con la normal saldrá el haz luminoso del líquido después de bajar a través del líquido, reflejarse en el fondo de espejo y regresar a la superficie?

33.57. Un rayo de luz va del punto A , en un medio en el que la rapidez de la luz es v_1 , al punto B en el que la rapidez es v_2 (figura 33.55). El rayo incide en la interfaz a una distancia horizontal x a la derecha del punto A . *a)* Demuestre que el tiempo requerido para que la luz vaya de A a B es

$$t = \frac{\sqrt{h_1^2 + x^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{h_2^2 + (l - x)^2}}{v_2}$$

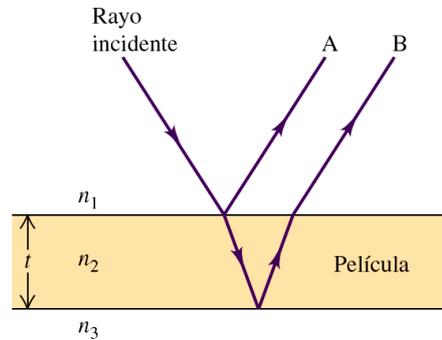
b) Obtenga la derivada de t con respecto a x e iguálela a cero para demostrar que este tiempo alcanza su valor *mínimo* cuando $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$. Ésta es la ley de Snell y corresponde a la trayectoria real que toma la luz. Éste es otro ejemplo del principio de Fermat del tiempo mínimo (véase el problema 33.56).

Figura 33.55 Problema 33.57.



33.59. La luz que viaja hacia abajo incide sobre una película horizontal de espesor t , como se ilustra en la figura 33.57. El rayo incidente se divide en dos rayos, A y B. El rayo A se refleja en la parte superior de la película, y el rayo B se refleja en el fondo de la película para luego refractarse de regreso en el material que está encima de la película. Si la película tiene caras paralelas, demuestre que los rayos A y B terminan paralelos uno con respecto al otro.

Figura 33.57 Problema 33.59.



PRÁCTICA 9

Óptica geométrica.

P34.1. Un espejo esférico se corta horizontalmente por la mitad. ¿Se formará una imagen con la mitad inferior del espejo? Si acaso, ¿dónde se formará la imagen?

P34.5. Si se sumerge en agua un espejo esférico, ¿cambia su distancia focal? Explique su respuesta.

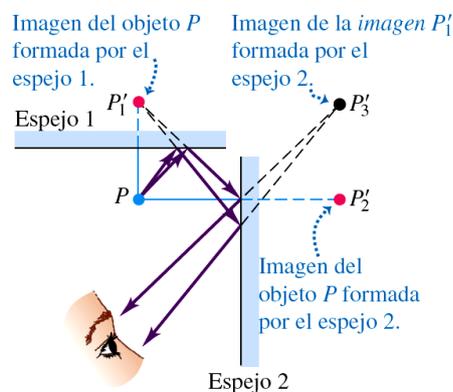
P34.11. Una persona mira su reflejo en el lado cóncavo de una cuchara reluciente. ¿El reflejo es derecho o invertido? ¿Influye la distancia entre el rostro y la cuchara? ¿Y si la persona se mira en el lado convexo? (¡Haga la prueba!)

P34.15. ¿Cómo se puede hacer rápidamente una medición aproximada de la distancia focal de una lente convergente? ¿Se podría aplicar el mismo método a una lente divergente? Explique su respuesta.

P34.23. No podemos ver con claridad bajo el agua a simple vista, pero sí podemos hacerlo si nos ponemos una careta o gafas protectoras (con aire entre los ojos y la careta o las gafas). ¿A qué se debe la diferencia? ¿Sería posible ver bajo el agua con ayuda de unos anteojos (con agua entre los ojos y los anteojos)? Si es así, ¿los lentes deben ser convergentes o divergentes? Explique su respuesta.

34.3. Como se muestra en la figura 34.9, el espejo 1 utiliza la imagen P'_2 formada por el espejo 2 como objeto, y forma una imagen de ella. Demuestre que esta imagen está en el punto P'_3 de la figura.

34.9 Las imágenes P'_1 y P'_2 se forman por reflexión simple de cada rayo proveniente de un objeto situado en P . La imagen P'_3 , localizada tratando cualquiera de las otras imágenes como objeto, se forma por doble reflexión de cada rayo.



34.7. El diámetro de Marte es de 6794 km y su distancia mínima con respecto a la Tierra es de 5.58×10^7 km. Con Marte a esta distancia, determine el diámetro de la imagen del planeta que forma un espejo esférico y cóncavo de telescopio con una distancia focal de 1.75 m.

34.8. Un objeto está a 24.0 cm del centro de un adorno esférico de vidrio plateado de árbol de Navidad con un diámetro de 6.00 cm. ¿Cuáles son la posición y el aumento de su imagen?

34.14. Un espejo esférico cóncavo para afeitarse tiene un radio de curvatura de 32.0 cm. a) ¿Cuál es el aumento del rostro de una persona cuando está 12.0 cm a la izquierda del vértice del espejo? b) ¿Dónde está la imagen? ¿La imagen es real o virtual? c) Dibuje un diagrama de rayos principales para mostrar la formación de la imagen.

34.16. Un tanque cuyo fondo es un espejo se llena con agua a una profundidad de 20.0 cm. Un pez pequeño flota inmóvil a 7.0 cm bajo la superficie del agua. a) ¿Cuál es la profundidad aparente del pez visto a una incidencia normal? b) ¿Cuál es la profundidad aparente de la imagen del pez vista a una incidencia normal?

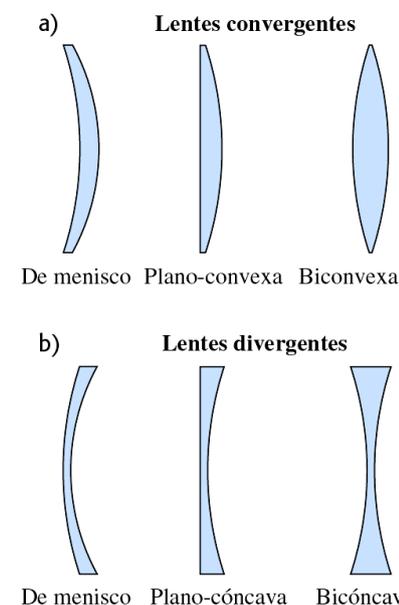
34.20. El extremo izquierdo de una larga varilla de vidrio de 8.00 cm de diámetro, con un índice de refracción de 1.60, se esmerila y pule para formar una superficie hemisférica convexa con un radio de 4.00 cm. Un objeto con forma de flecha, de 1.50 mm de altura y en ángulo recto al eje de la varilla, está situado sobre el eje 24.0 cm a la izquierda del vértice de la superficie convexa. Calcule la posición y la altura de la imagen de la flecha formada por los rayos paraxiales que inciden en la superficie convexa. ¿La imagen es derecha o invertida?

34.22. Se sumerge en un líquido la varilla del ejercicio 34.21. Un objeto situado a 14.0 cm del vértice del extremo izquierdo de la varilla y sobre su eje forma una imagen en un punto que se halla a 9.00 cm del vértice en el interior del líquido. ¿Cuál es el índice de refracción del líquido?

34.24. Una lente forma una imagen de un objeto, el cual está a 16.0 cm de la lente. La imagen está a 12.0 cm de la lente del mismo lado que el objeto. a) ¿Cuál es la distancia focal de la lente? ¿Esta es convergente o divergente? b) Si el objeto tiene 8.50 mm de altura, ¿cuál será la altura de la imagen? ¿Es derecha o invertida? c) Dibuje un diagrama de rayos principales.

34.30. En la figura 34.32 se muestran seis lentes en aire. Todas las lentes son de un material cuyo índice de refracción en $n > 1$. Considerando cada lente por separado, imagine que entra luz a la lente desde la izquierda. Demuestre que las tres lentes de la figura 34.32a tienen distancia focal *positiva* y son, por lo tanto, lentes *convergentes*. Asimismo, demuestre que las tres lentes de la figura 34.32b tienen distancia focal *negativa* y son, por lo tanto, lentes *divergentes*.

34.32 Varios tipos de lentes.



34.32. Una lente convergente con una distancia focal de 12.0 cm forma una imagen virtual de 8.00 mm de altura, 17.0 cm a la derecha de la lente. Calcule la posición y el tamaño del objeto. ¿La imagen es derecha o invertida? ¿El objeto y la imagen están del mismo lado o en lados opuestos de la lente? Dibuje un diagrama de rayos principales de esta situación.

34.35. Una lente de cámara tiene una distancia focal de 200 mm. ¿A qué distancia de la lente debe estar el sujeto de la fotografía, si la lente está a 20.4 mm de la película?

34.41. La distancia focal de una lente de cámara es de 180.0 mm y su diámetro de apertura es de 16.36 mm. a) ¿Cuál es el número f de la lente? b) Si la exposición correcta de cierta escena es de $\frac{1}{30}$ s a $f/11$, ¿cuál es la exposición correcta a $f/2.8$?

34.45. a) ¿Dónde se halla el punto cercano de un ojo al que se ha prescrito una lente de contacto con una potencia de $+2.75$ dioptrías? b) ¿Dónde se halla el punto lejano de un ojo al que se ha prescrito una lente de contacto con una potencia de -1.30 dioptrías para hipermetropía?

34.46. Curvatura de la córnea. En un modelo simplificado del ojo humano, los humores acuoso y vítreo y el cristalino tienen todos un índice de refracción de 1.40 , y toda la refracción tiene lugar en la córnea, cuyo vértice está a 2.60 cm de la retina. ¿Cuál debería ser el radio de curvatura de la córnea, para que la imagen de un objeto situado a 40.0 cm del vértice de la córnea esté enfocado en la retina?

34.47. Lentes correctivas. Determine la potencia de las lentes de contacto correctivas que requiere a) un ojo hipermetrope cuyo punto cercano está a 60.0 cm; b) un ojo miope cuyo punto lejano está a 60.0 cm.

34.50. Se desea observar a un insecto de 2.00 mm de longitud a través de una lente de aumento. Si el insecto va a estar en el punto focal de la lente de aumento, ¿qué distancia focal proporcionará a la imagen del insecto un tamaño angular de 0.025 radianes?

34.52. Definición de un microscopio. La imagen formada por un objetivo de microscopio con una distancia focal de 5.00 mm está a 160 mm de su segundo punto focal. El ocular tiene una distancia focal de 26.0 mm. a) ¿Cuál es el aumento angular del microscopio? b) En su punto cercano, el ojo no asistido puede distinguir dos puntos individualmente, si están separados por una distancia de 0.10 mm. ¿Cuál es la separación mínima entre dos puntos que este microscopio puede definir?

34.53. La distancia focal del ocular de cierto microscopio es de 18.0 mm. La distancia focal del objetivo es de 8.00 mm. La distancia entre el objetivo y el ocular es de 19.7 cm. La imagen final formada por el ocular está en el infinito. Trate todas las lentes como delgadas. a) ¿Cuál es la distancia del objetivo al objeto que se observa? b) ¿Cuál es la magnitud del aumento lineal que el objetivo produce? c) ¿Cuál es el aumento angular total del microscopio?

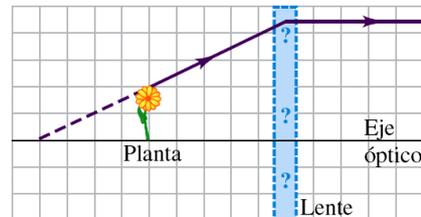
34.55. El telescopio de refracción Yerkes de la Universidad de Chicago tiene un objetivo de 1.02 m de diámetro con un número f de 19.0 . (Se trata del telescopio de refracción de mayor diámetro del mundo.) ¿Cuál es su distancia focal?

34.64. Una bombilla luminosa está a 4.00 m de un muro. Se va a utilizar un espejo cóncavo para proyectar una imagen de la bombilla sobre el muro, de tal modo que la imagen sea 2.25 veces más grande que el objeto. ¿A qué distancia del muro debe estar el espejo? ¿Cuál debe ser su radio de curvatura?

34.67. Suponga que el filamento de la lámpara del ejemplo 34.1 (sección 34.2) se lleva a una posición a 8.0 cm delante del espejo. a) ¿Dónde se halla ahora la imagen? ¿Es real o virtual? b) ¿Cuál es la altura de la imagen? ¿Es derecha o invertida? c) En el ejemplo 34.1, el filamento está a 10.0 cm delante del espejo, y se forma una imagen del filamento sobre un muro a 3.00 m del espejo. Si el filamento está a 8.0 cm del espejo, ¿se puede colocar un muro de modo que se forme una imagen sobre él? En caso afirmativo, ¿dónde se debe colocar el muro? En caso negativo, ¿por qué?

34.72. La figura 34.56 muestra una pequeña planta ubicada cerca de una lente delgada. El rayo que se ilustra es uno de los rayos principales de la lente. Cada cuadro equivale a 2.0 cm a lo largo de la dirección horizontal, pero la dirección vertical no está a la misma escala. Utilice la información del diagrama para responder las siguientes preguntas: a) A partir sólo del rayo mostrado, defina qué tipo de lente es ésta (convergente o divergente). b) ¿Cuál es la distancia focal de la lente? c) Localice la imagen dibujando los otros dos rayos principales. d) Calcule dónde debería estar la imagen y compare este resultado con la solución gráfica en el inciso c).

Figura 34.56 Problema 34.72.



34.109. En una forma de cirugía para cataratas, se sustituye el cristalino natural del paciente, que se ha enturbiado, por una lente artificial. Es posible elegir las propiedades refractivas de la lente de repuesto, de modo que el ojo de la persona enfoque los objetos distantes. Pero no existe acomodación, y se necesitan anteojos o lentes de contacto para ver de cerca. ¿Cuál es la potencia, en dioptrías, de las lentes de contacto correctivas que permiten a una persona que ha sido sometida a una cirugía de este tipo enfocar una página de un libro a una distancia de 24 cm?

34.110. Ojo miope. Cierta persona muy miope es incapaz de enfocar nada que esté a más de 36.0 cm del ojo. Considere el modelo simplificado del ojo que se describe en el ejercicio 34.46. Si el radio de curvatura de la córnea es de 0.75 cm cuando el ojo está enfocado en un objeto a 36.0 cm del vértice de la córnea y los índices de refracción son como se describe en el ejercicio 34.46, ¿cuál es la distancia del vértice de la córnea a la retina? ¿Qué indica esto acerca de la forma del ojo miope?

PRÁCTICA 10 Interferencia.

P35.1. Se realiza un experimento de interferencia de dos ranuras, y las franjas se proyectan en una pantalla. Después, todo el aparato se sumerge en la alberca más cercana. ¿Cómo cambia el patrón de las franjas?

P35.8. Luz coherente de color rojo ilumina dos ranuras angostas separadas por una distancia de 25 cm. ¿Se observará un patrón de interferencia de doble ranura cuando la luz proveniente de las ranuras ilumina una pantalla? Explique su respuesta.

P35.12. Al usar el principio de superposición para calcular las intensidades de los patrones de interferencia, ¿se podrían sumar las intensidades de las ondas en vez de sus amplitudes? Explique su respuesta.

P35.18. Cuando se extiende una capa delgada de aceite sobre un charco de agua, la parte más delgada de la película se ve oscura en el patrón de interferencia resultante. ¿Qué nos dice esto acerca de las magnitudes relativas de los índices de refracción del aceite y del agua?

35.4. Dos fuentes de luz se pueden ajustar para que emitan luz monocromática de cualquier longitud de onda visible. Las dos fuentes son coherentes, están separadas por una distancia de $2.04 \mu\text{m}$ y alineadas con un observador, de manera que una fuente está $2.04 \mu\text{m}$ más lejos del observador que la otra. *a)* ¿Para qué longitudes de onda visibles (de 400 a 700 nm) el observador verá la luz más brillante debido a la interferencia constructiva? *b)* ¿Cómo se verían afectadas sus respuestas al inciso *a)* si las dos fuentes no estuvieran alineadas con el observador, pero mantuvieran un arreglo tal que una de ellas estuviera $2.04 \mu\text{m}$ más lejos del observador que la otra? *c)* ¿Para qué longitudes de onda de luz visible habría interferencia destructiva en la ubicación del observador?

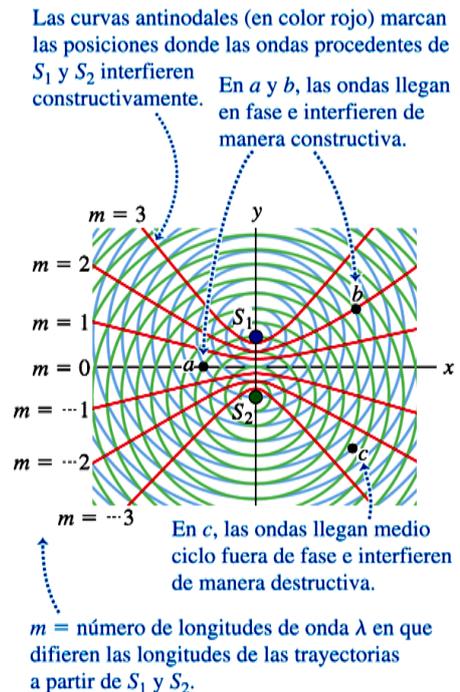
35.6. La figura 35.3 muestra el patrón de ondas producido por dos fuentes coherentes idénticas que emiten ondas con longitud de onda λ y que están separadas por una distancia $d = 4\lambda$. *a)* Explique por qué el eje y positivo por encima de S_1 constituye una curva antinodal con $m = +4$, y por qué el eje y negativo por debajo de S_2 constituye una curva antinodal con $m = -4$. *b)* Dibuje el patrón de ondas producido cuando la separación entre las fuentes se reduce a 3λ . En su dibujo, represente todas las curvas antinodales, es decir, aquellas en las que $r_2 - r_1 = m\lambda$. Identifique cada curva con su valor de m . *c)* En general, ¿qué es lo que determina los valores máximo (más positivo) y mínimo (más negativo) del entero m que identifica las líneas antinodales? *d)* Suponga que la separación entre las fuentes aumenta a $7\frac{1}{2}\lambda$. ¿Cuántas curvas antinodales habrá? ¿A qué valores de m corresponden? Explique su razonamiento. (Para responder estas preguntas no tiene que hacer un dibujo.)

35.7. Considere la figura 35.3, que podría representar la interferencia entre ondas en el agua de un tanque de olas. Elija al menos tres puntos sobre la curva antinodal indicada como " $m = 3$ " y haga mediciones en esta figura para demostrar que se satisface la ecuación (35.1). Explique qué mediciones efectuó o cómo midió la longitud de onda λ .

35.11. Se hace pasar luz coherente de una lámpara de vapor de sodio a través de un filtro que bloquea todo excepto la luz de una sola longitud de onda. Después incide sobre dos ranuras separadas por una distancia de 0.460 mm. En el patrón de interferencia resultante sobre una pantalla a 2.20 m de distancia, las franjas brillantes adyacentes están separadas por 2.82 mm. ¿Cuál es la longitud de onda?

35.14. A través de dos ranuras angostas separadas por una distancia de 0.300 mm pasa luz coherente que contiene dos longitudes de onda, 660 nm (rojo) y 470 nm (azul), y se observa el patrón de interferencia en una pantalla colocada a 5.00 m de las ranuras. ¿Cuál es la distancia en la pantalla entre las franjas brillantes de primer orden para las dos longitudes de onda?

35.3 Igual que la figura 35.2a, pero con curvas antinodales (curvas de amplitud máxima) en color rojo superpuestas. Todos los puntos en cada curva satisfacen la ecuación (35.1) con el valor de m que se indica. Las curvas nodales (no aparecen) se encuentran entre cada par adyacente de curvas antinodales.



35.16. Luz coherente con frecuencia de 6.32×10^{14} Hz pasa a través de dos finas ranuras e incide en una pantalla ubicada a 85.0 cm de las ranuras. Usted observa que la tercera franja brillante se presenta a ± 3.11 cm a cada lado de la franja brillante central. *a)* ¿Qué tan separadas están las dos ranuras? *b)* ¿A qué distancia de la franja brillante central se presentará la tercera franja oscura?

35.20. Fuentes coherentes A y B emiten ondas electromagnéticas con longitud de 2.00 cm. El punto P se halla a 4.86 m de A y a 5.24 m de B . ¿Cuál es la diferencia de fase en P entre estas dos ondas?

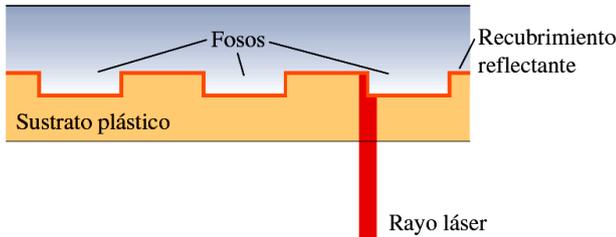
35.26. Considere dos antenas separadas por una distancia de 9.00 m que irradian en fase a 120 MHz, como se describe en el ejercicio 35.3. Un receptor colocado a 150 m de ambas antenas mide una intensidad de I_0 . El receptor se mueve de manera que está 1.8 m más cerca de una antena que de la otra. *a)* ¿Cuál es la diferencia de fase ϕ entre las dos ondas de radio producidas por esta diferencia en las trayectorias? *b)* En términos de I_0 , ¿cuál es la intensidad medida por el receptor en su nueva posición?

35.30. Una placa de vidrio de 9.00 cm de largo se pone en contacto con una segunda placa que forma un pequeño ángulo por medio de una tira de metal de 0.0800 mm de espesor situada en un extremo. El espacio entre las placas está lleno de aire. El vidrio es iluminado desde arriba con luz que tiene longitud de onda de 656 nm en el aire. ¿Cuántas franjas de interferencia se observan por centímetro en la luz reflejada?

35.35. Reproductor de discos compactos. Los discos compactos (CD) se leen por la parte de abajo mediante un láser semiconductor con longitud de onda de 790 nm que pasa a través de un sustrato plástico cuyo índice de refracción es de 1.8. Cuando el haz encuentra un foso (*pit*), una parte del haz se refleja en el foso y otra parte en la re-

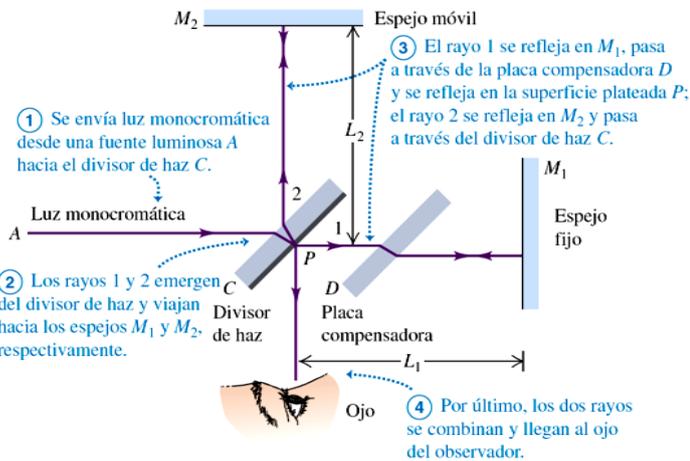
gión plana que separa los fosos, de manera que los dos haces interfieren uno con el otro (figura 35.22). ¿Cuál debe ser la profundidad mínima de los fosos de manera que la parte del haz que se refleja en un foso cancele la parte del haz que se refleja en la región plana? (Esta cancelación es lo que permite que el aparato reconozca el comienzo y final de un foso. Para una explicación más completa de la física en la que se basa la tecnología de los discos compactos, véase el artículo “The Compact Disc Digital Audio System”, de Thomas D. Rossing, en la edición de diciembre de 1987 de *The Physics Teacher*.)

Figura 35.22 Ejercicio 35.35.



35.37. ¿A qué distancia se debe desplazar el espejo M_2 (véase la figura 35.20) del interferómetro de Michelson de manera que 1800 franjas de luz láser de He/Ne ($\lambda = 633 \text{ nm}$) crucen una línea en el campo de visión?

35.20 Esquema del interferómetro de Michelson. El observador mira un patrón de interferencia que es resultado de la diferencia de las longitudes de las trayectorias de los rayos 1 y 2.

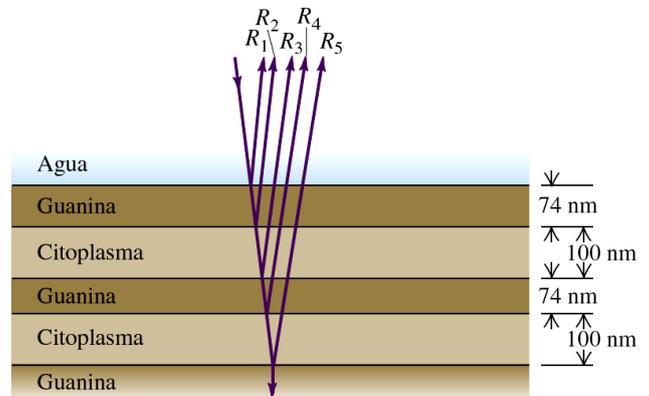


35.43. Dos altavoces, separados por una distancia de 2.50 m, son alimentados por el mismo oscilador de audio de manera que cada uno produce un sonido que consiste en *dos* frecuencias distintas, 0.900 kHz y 1.20 kHz. La rapidez del sonido en la habitación es de 344 m/s. Calcule todos los ángulos con respecto a la línea central habitual frente a (y lejos de) los altavoces con los que *ambas* frecuencias interfieren constructivamente.

35.54. Desde las superficies superior e inferior de una placa de vidrio ($n = 1.52$) se refleja luz blanca que incide en forma normal. Arriba y abajo de la placa hay aire. Se observa interferencia constructiva para luz cuya longitud de onda en el aire es de 477.0 nm. ¿Cuál es el espesor de la placa si la siguiente longitud de onda más larga para la que hay interferencia constructiva es 540.6 nm?

35.56. Recubrimientos reflectantes y los arenques. Los arenques y otros peces parecidos tienen un aspecto plateado brillante que les sirve de camuflaje cuando nadan en el océano iluminado por la luz del Sol. Esa apariencia se debe a las *plaquetas* adheridas a la superficie corporal de estos peces. Cada plaqueta está hecha de varias capas alternadas de guanina cristalina ($n = 1.80$) y de citoplasma ($n = 1.333$, un valor igual al del agua), con una capa de guanina en el exterior en contacto con el agua (figura 35.24). En una plaqueta común, las capas de guanina miden 74 nm de espesor y las capas de citoplasma miden 100 nm de espesor. a) Cuando llega luz a la superficie de la plaqueta con incidencia normal, ¿para qué longitudes de onda de la luz visible en el vacío estarán aproximadamente en fase todas las reflexiones R_1, R_2, R_3, R_4 y R_5 , ilustradas en la figura 35.24? Si a esta plaqueta la alcanza la luz blanca, ¿qué color se reflejará con más intensidad? (Véase la figura 32.4.) La superficie de un arenque tiene muchas plaquetas unas al lado de las otras en capas de diferente espesor, de manera que se reflejan *todas* las longitudes de onda visibles. b) Explique por qué una “pila” de capas es más reflectante que una sola capa de guanina con citoplasma debajo de ella. (Una pila de cinco capas de guanina separadas por capas de citoplasma refleja más del 80% de la luz incidente con la longitud de onda para la que está “sintonizada”.) c) El color que se refleja con más intensidad en una plaqueta depende del ángulo con que se mira. Explique por qué debe ser así. (Estos cambios de color se aprecian si se observa un arenque desde distintos ángulos. La mayoría de las plaquetas de estos peces están orientadas de la misma manera, en forma tal que están verticales cuando el pez nada.)

Figura 35.24 Problema 35.56.



PRÁCTICA 11

Difracción.

P36.3. Con una lente de diámetro D y luz de longitud de onda λ y frecuencia f se forma una imagen de dos objetos distantes y muy próximos uno de otro. De las acciones siguientes, ¿cuáles aumentan el poder de resolución? a) Emplear una lente de diámetro más pequeño. b) Emplear luz de mayor frecuencia. c) Emplear luz de longitud de onda más larga. Justifique su respuesta en cada caso.

P36.8. Ordinariamente, un arco iris muestra una gama de colores (véase la sección 33.4). Sin embargo, si las gotitas de agua que forman el arco iris son suficientemente pequeñas, el arco iris se ve blanco. Explique por qué, con base en ideas de difracción. En su opinión, ¿cuán pequeñas tendrían que ser las gotas de lluvia para que esto ocurra?

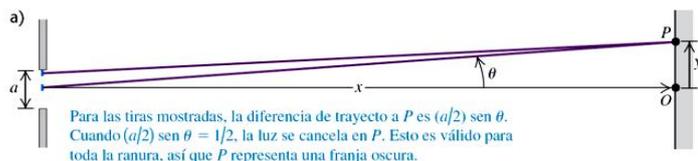
P36.14. ¿Se podrían observar efectos de difracción de rayos x con cristales, empleando luz visible en vez de rayos x ? ¿Por qué?

P36.17. Si se hace un holograma con luz de 600 nm y luego se observa con luz de 500 nm, ¿cómo se ven las imágenes en comparación con las que se observan cuando se emplea luz de 600 nm? Explique su respuesta.

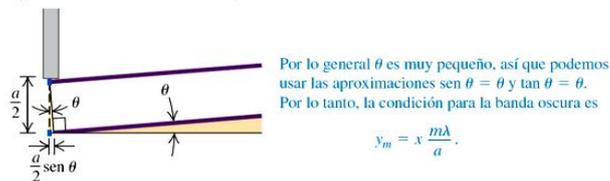
36.2. Rayos paralelos de luz verde de mercurio con una longitud de onda de 546 nm pasan a través de una rendija que cubre una lente con distancia focal de 60.0 cm. En el plano focal de la lente, la distancia entre el máximo central y el primer mínimo es de 10.2 mm. ¿Cuál es el ancho de la rendija?

36.5. Las ondas de todo tipo sufren difracción, incluso las ondas sonoras. A través de una ranura angosta de 12.0 cm de ancho pasa sonido de alta frecuencia, proveniente de una fuente distante, con una longitud de onda de 9.00 cm. Un micrófono se encuentra a 40.0 cm directamente enfrente de la ranura, en la posición que corresponde al punto O de la figura 36.5a. Se desplaza el micrófono en dirección perpendicular a la recta que une el centro de la ranura con el punto O . ¿A qué distancias de O la intensidad que el micrófono detecta es cero?

36.5 Vista lateral de una ranura horizontal. Cuando la distancia x a la pantalla es mucho mayor que el ancho de ranura a , los rayos provenientes de puntos separados por una distancia $a/2$ se pueden considerar como paralelos.



b) Vista aumentada de la mitad superior de la ranura



36.10. Ciertas ondas luminosas, cuyo campo eléctrico es $E_y(x, t) = E_{\text{máx}} \sin [(1.20 \times 10^7 \text{ m}^{-1})x - \omega t]$, pasan a través de una ranura y forman las primeras bandas oscuras a $\pm 28.6^\circ$ del centro del patrón de difracción. a) ¿Cuál es la frecuencia de esta luz? b) ¿Cuál es el ancho de la ranura? c) ¿Con qué otros ángulos aparecen otras bandas oscuras?

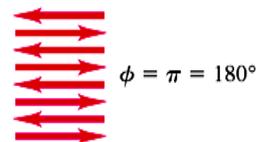
36.11. A través de una ranura que cubre una lente con una distancia focal de 40.0 cm pasan rayos de luz paralelos cuya longitud de onda es de 620 nm. Se observa el patrón de difracción en el plano focal de la lente, y la distancia del máximo central al primer mínimo es de 36.5 cm. ¿Cuál es el ancho de la ranura? (Nota: el ángulo que ubica el primer mínimo *no* es pequeño.)

36.17. En un patrón de difracción de una sola ranura, creado por radiación electromagnética monocromática de una fuente distante que pasa a través de una ranura de 0.105 mm de ancho. ¿En qué punto del patrón a 3.25° del centro del máximo central, la diferencia total de fase entre las onditas provenientes de los extremos superior e inferior de la ranura es de 56.0 rad. a) ¿Cuál es la longitud de onda de la radiación? b) ¿Cuál es la intensidad en este punto, si la intensidad en el centro del máximo central es I_0 ?

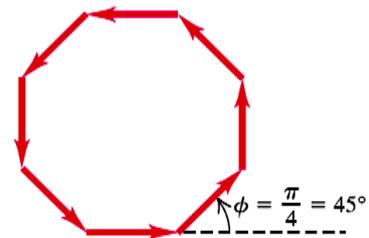
36.22. Ocho ranuras angostas paralelas e igualmente espaciadas crean un patrón de interferencia. Hay un mínimo de interferencia cuando la diferencia de fase ϕ entre la luz que sale de ranuras adyacentes es de $\pi/4$. El diagrama de fasores es el de la figura 36.14b. ¿Con qué pares de ranuras hay interferencia totalmente destructiva?

36.14 Diagrama de fasores correspondiente a luz que pasa a través de ocho ranuras angostas. Se presentan máximos de intensidad cuando la diferencia de fase $\phi = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$. Entre los máximos en $\phi = 0$ y $\phi = 2\pi$ hay siete mínimos, correspondientes a $\phi = \pi/4, \pi/2, 3\pi/4, \pi, 5\pi/4, 3\pi/2$ y $7\pi/4$. ¿Puede usted dibujar los diagramas de fasores correspondientes a los otros mínimos?

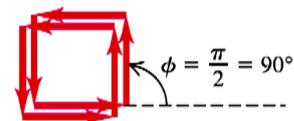
a) Diagrama de fasores para $\phi = \pi$



b) Diagrama de fasores para $\phi = \frac{\pi}{4}$



c) Diagrama de fasores para $\phi = \frac{\pi}{2}$



36.27. Se iluminan dos ranuras idénticas con luz láser de longitud de onda = 500.0 nm, con lo cual se produce un patrón de interferencia en una pantalla situada a 90.0 cm de las ranuras. Las bandas brillantes están a 1.00 cm unas de otras, y en el patrón faltan las terceras bandas brillantes a ambos lados del máximo central. Determine el ancho y la separación de las dos ranuras.

36.29. Si una rejilla de difracción produce su banda brillante de tercer orden a un ángulo de 78.4° con luz de longitud de onda de 681 nm, calcule a) el número de ranuras por centímetro de la rejilla; b) la ubicación angular de las bandas brillantes de primero y de segundo órdenes. c) ¿Habría una banda brillante de cuarto orden? Explique su respuesta.

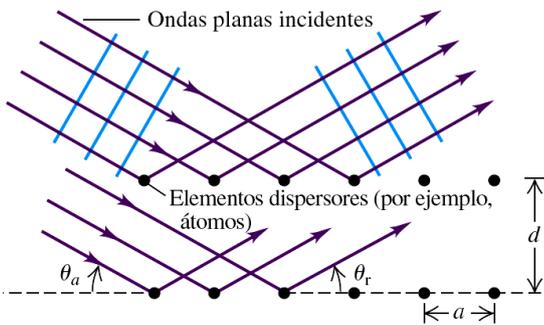
36.31. A través de una rejilla de difracción con 900 ranuras/cm pasa luz visible, y se observa el patrón de interferencia en una pantalla que está a 2.50 m de la rejilla. *a)* ¿La posición angular del espectro de primer orden es lo suficientemente pequeña para que $\sin \theta \approx \theta$ sea una buena aproximación? *b)* En el espectro de primer orden, los máximos correspondientes a dos longitudes de onda diferentes están separados en la pantalla por una distancia de 3.00 mm. ¿Cuál es la diferencia entre estas longitudes de onda?

36.38. La luz que emite un arco de hierro incluye muchas longitudes de onda. Dos de éstas son $\lambda = 587.9782 \text{ nm}$ y $\lambda = 587.8002 \text{ nm}$. Se desea resolver estas líneas espectrales en el primer orden por medio de una rejilla de 1.20 cm de largo. ¿Qué número mínimo de ranuras por centímetro debe tener la rejilla?

36.39. Los átomos de un cristal dispersan rayos x con una longitud de onda de 0.0850 nm. El máximo de segundo orden de la reflexión de Bragg se presenta cuando el ángulo θ de la figura 36.23 es de 21.5° . ¿Cuál es la separación entre planos atómicos adyacentes en el cristal?

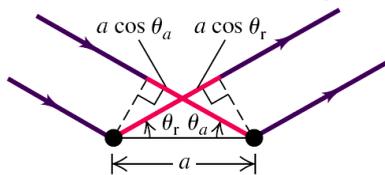
36.23 Modelo bidimensional de dispersión con respecto a una formación rectangular. Observe que los ángulos en *b)* se miden desde la *superficie* del cristal no desde su normal.

a) Dispersión de ondas desde una formación rectangular



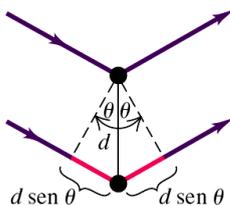
b) Dispersión desde los átomos adyacentes en una fila

La interferencia desde átomos adyacentes de una fila es constructiva cuando las longitudes del trayecto $a \cos \theta_a$ y $a \cos \theta_r$ son iguales; así que el ángulo de incidencia θ_a es igual al ángulo de reflexión (dispersión) θ_r .



c) Dispersión desde átomos en filas adyacentes

La interferencia desde átomos en filas adyacentes es constructiva cuando la diferencia de trayecto $2d \sin \theta$ es igual a un número entero de longitudes de onda, como en la ecuación (36.16).



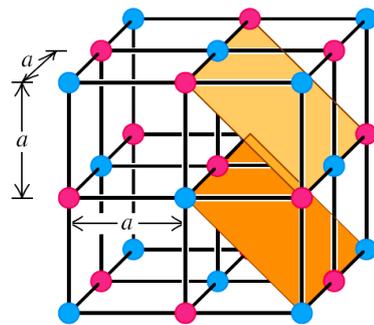
36.43. Entre dos satélites que se encuentran a una altitud de 1200 km hay una separación de 28 km. Si los satélites transmiten microondas de 3.6 cm, ¿qué diámetro mínimo debe tener un plato receptor para resolver (de acuerdo con el criterio de Rayleigh) las dos transmisiones?

36.47. Observación de Júpiter. Se le ha pedido proyectar un telescopio espacial que se pondrá en órbita alrededor de la Tierra. Cuando Júpiter esté a $5.93 \times 10^8 \text{ km}$ de distancia (su aproximación máxima a la Tierra), el telescopio debe resolver, conforme al criterio de Rayleigh, rasgos de Júpiter que están a 250 km entre sí. ¿Cuál es el diámetro mínimo de espejo que se requiere? Suponga una longitud de onda de 500 nm.

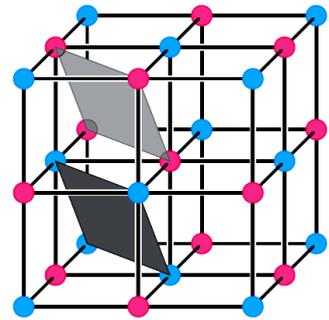
36.62. Difracción de rayos x de la sal. Se dispersan rayos x, con una longitud de onda de 0.125 nm, desde una formación cúbica (de un cristal de cloruro de sodio), donde la separación entre átomos adyacentes es $a = 0.282 \text{ nm}$. *a)* Si se considera la difracción desde planos paralelos a una cara del cubo, ¿a qué ángulos θ del haz entrante con respecto a los planos cristalinos se observarán máximos? *b)* Repita el inciso *a)* con respecto a la difracción producida por los planos que se muestran en la figura 36.24a, cuya separación es de $a/\sqrt{2}$.

36.24 Cristal cúbico y dos familias diferentes de planos cristalinos. Hay además tres conjuntos de planos paralelos a las caras del cubo, con separación a .

a) La separación de los planos es $d = a/\sqrt{2}$.



b) La separación de los planos es $d = a/\sqrt{3}$.



36.67. Cierta rejilla de difracción tiene 650 ranuras/mm. ¿Cuál es el orden más alto que contiene todo el espectro visible? (El intervalo de longitudes de onda del espectro visible es aproximadamente de 400 a 700 nm.)