

## Sección 32.2 Ondas electromagnéticas planas y rapidez de la luz

32.1 • a) ¿Cuánto tiempo tarda la luz en viajar de la Luna a la Tierra, una distancia de 384,000 km? b) La luz de la estrella Sirio tarda 8.61 años para llegar a la Tierra. ¿Cuál es la distancia, en kilómetros, de la estrella Sirio a la Tierra?

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}$$

$$\text{a) } t = \frac{d}{c} = \frac{384000 \cdot 10^3 \text{ [m]}}{3 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 1,28 \text{ [s]}$$

$$\text{b) } d = c \cdot t = 8,61 \text{ [años]} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}$$

$$d = 8,15 \cdot 10^{13} \text{ [km]}$$

32.2 • Considere cada una de las orientaciones de los campos eléctrico y magnético que se indican a continuación. En cada caso, ¿cuál es la dirección de propagación de la onda? a)  $\vec{E}$  está en la dirección  $+x$ ,  $\vec{B}$  está en la dirección  $+y$ ; b)  $\vec{E}$  está en la dirección  $-y$ ,  $\vec{B}$  está en la dirección  $+x$ ; c)  $\vec{E}$  está en la dirección  $+z$ ,  $\vec{B}$  está en la dirección  $-x$ ; d)  $\vec{E}$  está en la dirección  $+y$ ,  $\vec{B}$  está en la dirección  $-z$ .



a)  $E$  dirección  $+x$   
 $B$  dirección  $+y$

$K$  dirección  $+z$

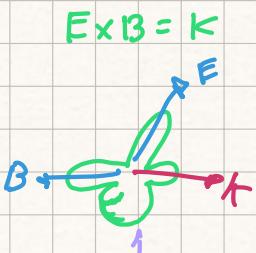
usando  
regla de  
la mano  
derecha

b)  $E$  dirección  $-y$   
 $B$  dirección  $+x$

$K$  dirección  $z$

c)  $E$  dirección  $+z$   
 $B$  dirección  $-x$

$K$  dirección  $+y$



imagine saber  
dibujar xo

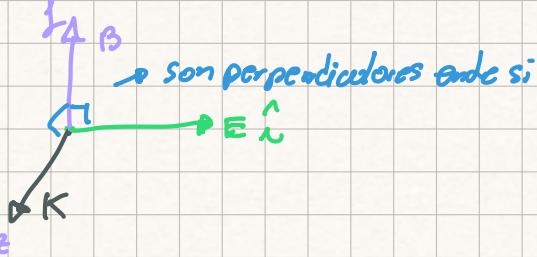
d)  $E$  dirección  $+y$   
 $B$  dirección  $-z$

$K$  dirección  $+x$

32.3 • Una onda electromagnética sinusoidal se propaga en el vacío en la dirección  $+z$ . Si en un instante determinado y en un cierto punto en el espacio, el campo eléctrico se encuentra en la dirección  $+x$  y tiene magnitud 4.00 V/m, ¿cuáles son la magnitud y la dirección del campo magnético de la onda en este mismo punto en el espacio y en el mismo instante?

$$E = 4 \text{ [V/m]} \hat{x}$$

$$B_0 = \frac{E_0}{C} = \frac{4}{3 \cdot 10^8} = 1,33 \cdot 10^{-8} \text{ [T]} \hat{j}$$



32.4 • Considere cada una de las siguientes orientaciones de los campos eléctrico y magnético. En cada caso, ¿cuál es la dirección de propagación de la onda? a)  $\vec{E} = E\hat{i}$ ,  $\vec{B} = -B\hat{j}$ ; b)  $\vec{E} = E\hat{j}$ ,  $\vec{B} = B\hat{i}$ ; c)  $\vec{E} = -E\hat{k}$ ,  $\vec{B} = -B\hat{i}$ ; d)  $\vec{E} = E\hat{i}$ ,  $\vec{B} = -B\hat{k}$ .

$$\vec{K} \quad \vec{B} \quad \vec{E} \times \vec{B} = \vec{K}$$

Mismo procedimiento que en la pregunta 32.2

$$\text{a) } -\hat{k}, \text{ b) } -\hat{k}, \text{ c) } \hat{j}, \text{ d) } \hat{j}$$

### Sección 32.3 Ondas electromagnéticas sinusoidales

**32.5 • BIO Rayos x en medicina.** Los rayos x en medicina se toman con ondas electromagnéticas que tienen una longitud de onda de alrededor de 0.10 nm. ¿Cuáles son la frecuencia, el periodo y el número de onda de las ondas de este tipo?

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ [m/s]} \\ \lambda = 0,10 \cdot 10^{-9} \text{ [m]}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^{-10}} = 3 \cdot 10^{18} \text{ [Hz]}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{3 \cdot 10^{18}} = \frac{1}{3} \cdot 10^{-18} = 3,3 \cdot 10^{-19} \text{ [s]}$$

$$K = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{1 \cdot 10^{-10}} = 2\pi \cdot 10^{10} = 6,3 \cdot 10^{10} \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

**32.6 • BIO Radiación ultravioleta.** Hay dos categorías de luz ultravioleta. La ultravioleta A (UVA) tiene una longitud de onda que varía de 320 a 400 nm. No es dañina para la piel y es necesaria para la producción de vitamina D. La UVB, con longitud de onda de entre 280 y 320 nm, es mucho más peligrosa porque causa cáncer de piel.  
 a) Encuentre los intervalos de frecuencia de la UVA y la UVB.  
 b) ¿Cuáles son los intervalos de los números de onda para la UVA y la UVB?

$$\text{Identifica } c = \lambda f \quad y \quad K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\text{Plantea } c = 3 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}$$

$$\text{Resuelve UVA: } \frac{3 \cdot 10^8}{320 \cdot 10^{-9}} = 9,38 \cdot 10^{14} \text{ [Hz]}$$

$$\frac{3 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} = 7,5 \cdot 10^{14} \text{ [Hz]}$$

$$\text{UVB: } \frac{3 \cdot 10^8}{280 \cdot 10^{-9}} = 1,07 \cdot 10^{15} \text{ [Hz]}$$

$$\frac{3 \cdot 10^8}{320 \cdot 10^{-9}} = 9,38 \cdot 10^{14} \text{ [Hz]}$$

$$\text{b) UVA: } \frac{2\pi}{320 \cdot 10^{-9}} = 1,9 \cdot 10^7 \text{ [rad/m]}$$

$$\frac{2\pi}{400 \cdot 10^{-9}} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ [rad/m]}$$

$$\text{UVB: } \frac{2\pi}{280 \cdot 10^{-9}} = 2,2 \cdot 10^7 \text{ [rad/m]}$$

$$\frac{2\pi}{320 \cdot 10^{-9}} = 1,9 \cdot 10^7 \text{ [rad/m]}$$

**32.7 •** Una onda electromagnética sinusoidal, que tiene un campo magnético de amplitud  $1.25 \mu\text{T}$  y longitud de onda de 432 nm, viaja en la dirección  $+x$  a través del espacio vacío. a) ¿Cuál es la frecuencia de esta onda? b) ¿Cuál es la amplitud del campo eléctrico asociado? c) Escriba las ecuaciones para los campos eléctrico y magnético como funciones de  $x$  y  $t$  en la forma de las ecuaciones (32.17).

$$\text{Identifica } c = \lambda f, E_0 = c B_0, K = 2\pi/\lambda, \omega = 2\pi f$$

$$\text{plantea } c = 3 \cdot 10^8 \rightarrow \text{viaje en el vacío}$$

**Resuelve**

$$\text{a) } 3 \cdot 10^8 = 432 \cdot 10^{-9} \cdot f$$

$$f = 6,9 \cdot 10^{14} \text{ [Hz]}$$

b)

$$B_0 = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ [T]}$$

$$E_0 = c B_0 = 3 \cdot 10^8 \cdot 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ [V/m]}$$

$$E_0 = 375 \text{ [V/m]}$$

$$\text{c) } K = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{432 \cdot 10^{-9}} = 1,45 \cdot 10^7$$

$$\omega = 2\pi f = 4,3 \cdot 10^{15}$$

$$B = 1,25 \cdot 10^{-6} \cos(1,45 \cdot 10^7 x - 4,3 \cdot 10^{15} t)$$

$$E = 375 \cos(1,45 \cdot 10^7 x - 4,3 \cdot 10^{15} t)$$

32.8 • Una onda electromagnética con longitud de onda de 435 nm viaja en el vacío en la dirección  $-z$ . El campo eléctrico tiene una amplitud de  $2.70 \times 10^{-3}$  V/m y es paralelo al eje  $x$ . ¿Cuáles son a) la frecuencia, y b) la amplitud del campo magnético? c) Escriba las ecuaciones vectoriales para  $\vec{E}(z, t)$  y  $\vec{B}(z, t)$ .

↳ incluye dirección

Identifica:  $c = \lambda f$ ,  $\omega = 2\pi f$ ,  $K = \frac{2\pi}{\lambda}$

$$E = BC \Rightarrow B = \frac{E}{c}$$

Plantea:  $c = 3 \cdot 10^8$

Resuelve: a)  $\frac{3 \cdot 10^8}{435 \cdot 10^{-9}} = 6.9 \cdot 10^{14} [\text{Hz}] = f$

b)  $\frac{2.7 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^8} = 9 \cdot 10^{-12} [T] = B_0$

c)  $B$ , por regla de la mano derecha, tiene dirección  $-\hat{j}$

$$K = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{435 \cdot 10^{-9}} = 1.4 \cdot 10^7$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 6.9 \cdot 10^{14} = 4.34 [\text{rad/s}]$$

$$\vec{E}(z, t) = (2.7 \cdot 10^{-3}) \cos(1.4 \cdot 10^7 z - 4.34t) \hat{x}$$

$$\vec{B}(z, t) = (9 \cdot 10^{-12}) \cos(1.4 \cdot 10^7 z - 4.34t) \hat{-j}$$

32.9 • Considere ondas electromagnéticas que se propagan en el aire.  
a) Determine la frecuencia de una onda con una longitud de onda de i. 5.0 km, ii. 5.0  $\mu\text{m}$ , iii. 5.0 nm. b) ¿Cuál es la longitud de onda (en metros y nanómetros) de i. los rayos gamma de frecuencia de  $6.50 \times 10^{21}$  Hz y ii. una onda de una estación de radio de AM con frecuencia de 590 kHz?

Identifica: las ondas se propagan en el aire a la velocidad de la luz

$$c = \lambda f$$

plantea:  $c = 3 \cdot 10^8$

Resuelve:

a) i)  $\frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^3} = 6 \cdot 10^4 [\text{Hz}]$

ii)  $\frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-6}} = 6 \cdot 10^{13} [\text{Hz}]$

iii)  $\frac{3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-9}} = 6 \cdot 10^{16} [\text{Hz}]$

b) i)  $\frac{3 \cdot 10^8}{6.5 \cdot 10^{21}} = 4.62 \cdot 10^{-14} [m]$   
 $= 4.62 \cdot 10^{-5} [\text{nm}]$

ii)  $\frac{3 \cdot 10^8}{280 \cdot 10^3} = 508 [m] = 5.08 \cdot 10^{11} [\text{nm}]$

- 32.10** • El campo eléctrico de una onda electromagnética sinusoidal obedece la ecuación  $E = (375 \text{ V/m}) \cos[(1.99 \times 10^7 \text{ rad/m})x + (5.97 \times 10^{15} \text{ rad/s})t]$ . a) ¿Cuáles son las amplitudes de los campos eléctrico y magnético de esta onda? b) ¿Cuáles son la frecuencia, la longitud de onda y el periodo de la onda? c) Esta luz es visible para los humanos?
- c) ¿Cuál es la rapidez de la onda?

Identifica:  $U(x,t) = A \cos(Kx - \omega t)$

$$E = cB \quad C = \frac{\omega}{K} \quad \omega = 2\pi f \quad K = 2\pi \quad T = \frac{1}{f}$$

Plantea:  $E = 375 \text{ V/m}$   
 $K = 1.99 \cdot 10^7$   
 $\omega = 5.97 \cdot 10^{15}$

Resuelve:  $E_0 = 375 \text{ [V/m]}$

$$B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{375}{3 \cdot 10^8} = 1.25 \cdot 10^{-6} \text{ [T]}$$

$$b) f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{5.97 \cdot 10^{15}}{2\pi} = 9.5 \cdot 10^{14}$$

$$\lambda = \frac{2\pi}{K} = \frac{2\pi}{1.99 \cdot 10^7} = 3.16 \cdot 10^{-7} = 316 \text{ [nm]}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{9.5 \cdot 10^{14}} = 1.05 \cdot 10^{-15} \text{ s}$$

$$c) C = \frac{\omega}{K} = \frac{5.97 \cdot 10^{15}}{1.99 \cdot 10^7} = 3 \cdot 10^8$$

- 32.11** • Una onda electromagnética tiene un campo eléctrico dado por  $\vec{E}(y, t) = (3.10 \times 10^5 \text{ V/m}) \hat{k} \cos[ky - (12.65 \times 10^{12} \text{ rad/s})t]$ .
- a) ¿En qué dirección viaja la onda? b) ¿Cuál es su longitud de onda? c) Escriba la ecuación vectorial para  $\vec{B}(y, t)$ .

a) La ecuación de onda contiene el factor  $\cos(ky - \omega t)$ , por lo tanto viaja en dirección  $\hat{j}$

$$b) \omega = 12.65 \cdot 10^{12}$$

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{12.65 \cdot 10^{12}}{2\pi} = 2.01 \cdot 10^{12}$$

$$c) \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.01 \cdot 10^{12}} = 1.49 \cdot 10^{-4}$$

c) La onda EM viaja en dirección  $\hat{j}$  y la onda eléctrica en dirección  $\hat{k}$ , por lo tanto la dirección de  $\vec{B}$  es  $\hat{\mu}$

$$B_0 = \frac{E_0}{C} = \frac{3.1 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^8} = 1.03 \cdot 10^{-3}$$

$$K = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{1.49 \cdot 10^{-4}} = 4.22 \cdot 10^4 \text{ [rad/m]}$$

$$\vec{B}(y, t) = 1.03 \cdot 10^{-3} \cos(4.22 \cdot 10^4 y - 12.65 \cdot 10^{12} t)$$

- 32.12** • Una onda electromagnética tiene un campo magnético dado por  $\vec{B}(x, t) = -(8.25 \times 10^{-9} \text{ T})\hat{j} \cos[(1.38 \times 10^4 \text{ rad/m})x + \omega t]$ .  
 a) ¿En qué dirección viaja la onda? b) ¿Cuál es la frecuencia  $f$  de la onda? c) Escriba la ecuación vectorial para  $\vec{E}(x, t)$ .

a)  $\vec{B}$  contiene la componente  $\cos(kx + \omega t)$ , por lo tanto viaja en dirección  $-\hat{x}$

$$b) K = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{K} = \frac{2\pi}{1.38 \cdot 10^4} = 4.55 \cdot 10^{-4}$$

$$c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{4.55 \cdot 10^{-4}} = 6.59 \cdot 10^{11}$$

$$c) \omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 6.59 \cdot 10^{11} = 4.14 \cdot 10^{12}$$

$$\vec{E}_0 = B_0 C = 8.25 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^8 = 2.48$$

Dirección:  $K$  en  $-\hat{x}$ ,  $B$  en  $-\hat{y}$   $\Rightarrow E$  en  $-\hat{k}$

$$\therefore \vec{B}(x, t) = -(2.48) \cos(1.38 \cdot 10^4 x + 4.14 \cdot 10^{12} t) \hat{k}$$

- 32.13** • La estación de radio WCCO en Minneapolis transmite su señal con una frecuencia de 830 kHz. En un punto a cierta distancia del transmisor, la amplitud del campo magnético de la onda electromagnética de WCCO es de  $4.82 \times 10^{-11} \text{ T}$ . Calcule a) la longitud de onda; b) el número de onda; c) la frecuencia angular; d) la amplitud del campo eléctrico.

$$a) c = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{830 \cdot 10^3} = 3.61 \cdot 10^2 \text{ [m]}$$

$$b) K = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{3.61 \cdot 10^2} = 1.79 \cdot 10^{-2} \text{ [rad/m]}$$

$$c) \omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 830 \cdot 10^3 = 5.22 \cdot 10^6 \text{ [rad/s]}$$

$$d) E_0 = B_0 C = 4.82 \cdot 10^{-11} \cdot 3 \cdot 10^8 = 1.44 \cdot 10^{-2} \text{ [V/m]}$$

## Sección 32.4 Energía y momento lineal de las ondas electromagnéticas

**32.16 • BIO Tratamiento de alta energía del cáncer.** Los científicos están trabajando en una nueva técnica para exterminar las células cancerosas atacándolas con pulsos de luz de ultra-alta energía (en el rango de  $10^{12}$  W) que duran un tiempo extremadamente corto (unos cuantos nanosegundos). Estos pulsos cortos codifican el interior de una célula sin causar que estalle, como lo harían los pulsos largos. Se puede modelar una célula típica tal como un disco de  $5.0 \mu\text{m}$  de diámetro, con una duración de pulso de 4.0 ns con una potencia media de  $2.0 \times 10^{12}$  W. Supondremos que la energía se distribuye de manera uniforme sobre las caras de 100 células por cada pulso. a) ¿Cuánta energía se da a la célula durante este pulso? b) ¿Cuál es la intensidad (para  $\text{W/m}^2$ ) sobre la célula? c) ¿Cuáles son los valores máximos de los campos eléctrico y magnético en el pulso?

$$I = \frac{E_0 c E_0^2}{2}, I = \frac{P}{A}, E_0 = c B_0, U = Pt$$

$$a) U = Pt = 2 \cdot 10^{12} \cdot 4 \cdot 10^{-9} = 8 \cdot 10^3 [\text{J}]$$

$$\text{por cada célula: } \frac{8 \cdot 10^3}{10^2} = 80 [\text{J}]$$

$$b) A = \pi r^2, r = 2.5 \cdot 10^{-6} [\text{m}]$$

$$I = \frac{P}{A} = \frac{2 \cdot 10^{12}}{(100)\pi \cdot (2.5 \cdot 10^{-6})^2} = 1.02 \cdot 10^{21} [\text{W/m}^2]$$

↳ céulas

$$c) I = \frac{E_0 \cdot c \cdot E_0^2}{2} \Rightarrow E_0 = \sqrt{\frac{2I}{cE_0}}$$

$$E_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.02 \cdot 10^{21}}{3 \cdot 10^8 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12}}} = 8.77 \cdot 10^{11} [\text{V/m}]$$

$$B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{8.77 \cdot 10^{11}}{3 \cdot 10^8} = 2.92 \cdot 10^3 [\text{T}]$$

P.32 Ejercicios y problemas en el mundo

**32.17 • Campos de una bombilla eléctrica.** Una bombilla incandescente de 75 W se puede modelar en forma razonable como una esfera de 6.0 cm de diámetro. Es común que solo el 5% de la energía se convierta en luz visible; el resto consiste sobre todo en radiación infrarroja invisible. a) ¿Cuál es la intensidad de la luz visible (en  $\text{W/m}^2$ ) en la superficie de la bombilla? b) ¿Cuáles son las amplitudes de los campos eléctrico y magnético en esta superficie, para una onda sinusoidal con esta intensidad?

Identifica

$$I = \frac{P}{A}, I = \frac{E_0 c E_0^2}{2}, E_0 = c B_0$$

Plantea

$$A = \pi r^2, c = 3 \cdot 10^8, E_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$$

Resuelve

solo el 5% luz visible  
↑

$$a) I = \frac{P}{A} = \frac{75 \cdot (0.05)}{\pi (3 \cdot 10^{-2})^2} = 331 [\text{W}]$$

$$b) I = \frac{E_0 \cdot c \cdot E_0^2}{2} \Rightarrow E_0 = \sqrt{\frac{2I}{cE_0}}$$

$$E_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 331}{3 \cdot 10^8 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12}}} = 499 [\text{V/m}]$$

$$B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{499}{3 \cdot 10^8} = 1.66 \cdot 10^{-6} [\text{T}] = 1.66 [\mu\text{T}]$$

**32.18** Una onda electromagnética sinusoidal de una estación de radio pasa en forma perpendicular a través de una ventana abierta con área de  $0.500 \text{ m}^2$ . En la ventana, el campo eléctrico de la onda tiene un valor rms (eficaz) de  $0.0200 \text{ V/m}$ . ¿Cuánta energía transporta esta onda a través de la ventana durante un comercial de  $30.0 \text{ s}$ ?

**Identificar**

$$I = E_0 C E_{\text{rms}}^2, U = P t, I = \frac{P}{A}$$

**Plantear**

$$C = 3 \cdot 10^8, E_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$$

**Resuelver**

$$I = (8.85 \cdot 10^{-12}) \cdot (3 \cdot 10^8) \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2$$

$$I = 1.06 \cdot 10^{-6}$$

$$I = \frac{P}{A} \Rightarrow P = I \cdot A = 1.06 \cdot 10^{-6} \cdot 0.5 \cdot 10^{-7} = 5.31 \cdot 10^{-13}$$

$$U = P \cdot t = 5.31 \cdot 10^{-13} \cdot 30 = 1.59 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 1.59 \cdot 10^{-11} \text{ [μJ]}$$

**32.19** Prueba de un transmisor espacial de radio. Usted es un especialista en misiones de la NASA y está en su primer vuelo a bordo del transbordador espacial. Gracias a sus exhaustivos estudios de física, le asignaron la tarea de evaluar el desempeño de un nuevo transmisor de radio a bordo de la Estación Espacial Internacional (EEI). Encaramado en el brazo móvil del transbordador, usted apunta un detector sensible hacia la EEI, que se localiza a  $2.5 \text{ km}$  de distancia, y encuentra que la amplitud de campo eléctrico de las ondas de radio provenientes del transmisor en la EEI es de  $0.090 \text{ V/m}$ , y que la frecuencia de las ondas es de  $244 \text{ MHz}$ . Determine lo siguiente: a) la intensidad de la onda de radio donde usted se encuentra; b) la amplitud de campo magnético de la onda donde usted se encuentra; c) la potencia de salida total del transmisor de radio de la EEI. d) ¿Qué suposiciones hizo, si es el caso, para sus cálculos?

$$I = \frac{P}{A}, I = \frac{E_0 c E_0^2}{2}, E_0 = B_0 \cdot c$$

$$\text{a)} I = \frac{E_0 \cdot c \cdot E_0^2}{2} = \frac{8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 9 \cdot 10^{-2}}{2}$$

$$I = 1.08 \cdot 10^{-5} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

$$\text{b)} B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{9 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^8} = 3 \cdot 10^{-10} \text{ [T]}$$

$$\text{c)} I = \frac{P}{A} \Rightarrow P = I \cdot A = 1.08 \cdot 10^{-5} \cdot 4 \cdot \pi \cdot (2.5 \cdot 10^3)^2$$

$$P = 8.48 \cdot 10^2 \text{ [W]}$$

área esfera

área radio

$3 \text{ km}$

d) Se asume que la intensidad es uniforme en todos los sentidos

- 32.20** • La intensidad de un rayo láser cilíndrico es de  $0.800 \text{ W/m}^2$ . El área de sección transversal del haz es de  $3.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ , y la intensidad es uniforme en toda la sección transversal del rayo. a) ¿Cuál es la potencia de salida media del láser? b) ¿Cuál es el valor rms (eficaz) del campo eléctrico en el rayo?

$$I = \frac{P}{A}, I = E_c E_{rms}^2$$

a)  $P = IA = 8 \cdot 10^{-1} \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-4}$

b)  $I = E_c E_{rms}^2 \Rightarrow E_{rms} = \sqrt{\frac{I}{E_c}}$

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^{-1}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot 10^8}} = 17,9 \text{ [V/m]}$$

- 32.22** • Una onda electromagnética sinusoidal emitida por un teléfono celular tiene una longitud de onda de  $35.4 \text{ cm}$  y una amplitud de campo eléctrico de  $5.40 \times 10^{-2} \text{ V/m}$  a una distancia de  $250 \text{ m}$  del teléfono. Calcule a) la frecuencia de la onda; b) la amplitud del campo magnético; c) la intensidad de la onda.

$$c = \lambda f, I = \frac{E_0 C E_0^2}{2}, E_0 = B_0 C$$

$$c = 3 \cdot 10^8, E_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$$

a)  $f = \frac{3 \cdot 10^8}{35,4 \cdot 10^{-2}} = 8,47 \cdot 10^8$

b)  $B_0 = \frac{E_0}{C} = \frac{5,40 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^8} = 1,8 \cdot 10^{-10} \text{ [T]}$

c)  $I = \frac{E_0 C E_0^2}{2} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot (5,4 \cdot 10^{-2})^2}{2}$

$$I = 3,87 \cdot 10^{-6}$$

- 32.21** • Una sonda espacial situada a una distancia de  $2.0 \times 10^{10} \text{ m}$  de una estrella mide la intensidad total de la radiación electromagnética de la estrella, la cual resulta ser de  $5.0 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ . Si la estrella irradia de manera uniforme en todas direcciones, ¿cuál es la potencia de salida media total?

$$I = P/A, A = 4\pi r^2$$

$$I = \frac{P}{A} \Rightarrow P = I \cdot A = 5 \cdot 10^3 \cdot 4\pi (2 \cdot 10^{10})^2$$

$$P = 2,51 \cdot 10^{25} \text{ [W]}$$

- 32.23** • Una fuente de luz monocromática con una potencia de salida de 60.0 W irradia luz uniformemente en todas direcciones con una longitud de onda de 700 nm. Calcule  $E_{\text{máx}}$  y  $B_{\text{máx}}$  para la luz de 700 nm a una distancia de 5.00 m de la fuente.

$$I = \frac{P}{A}, I = \frac{E_0 c E_0}{2}$$

$$I = \frac{60}{4\pi(5)^2} = 1.9 \cdot 10^{-4}$$

$$E_0 = \sqrt{\frac{2I}{c\epsilon_0}} = 12 \text{ [V/M]}$$

$$B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{12}{3 \cdot 10^8} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ [T]}$$

- 32.24** • Con respecto a la onda electromagnética representada por las ecuaciones (32.19), demuestre que el vector de Poynting *a)* tiene la misma dirección que la propagación de la onda, y *b)* tiene una magnitud media dada por las ecuaciones (32.29).

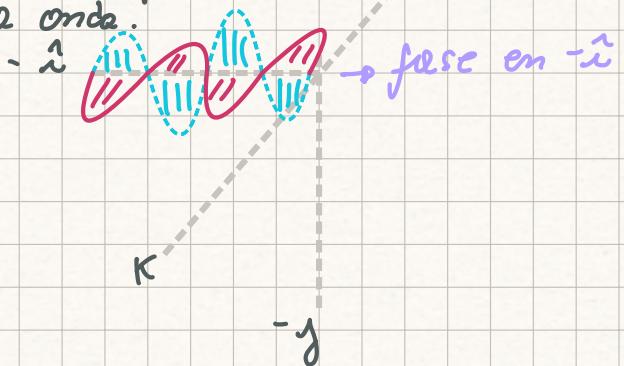
$$E_y(x, t) = E_{\text{máx}} \cos(kx + \omega t) \quad B_z(x, t) = -B_{\text{máx}} \cos(kx + \omega t) \quad (32.19)$$

$$\begin{aligned} I &= S_{\text{med}} = \frac{E_{\text{máx}} B_{\text{máx}}}{2\mu_0} = \frac{E_{\text{máx}}^2}{2\mu_0 c} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E_{\text{máx}}^2 = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_{\text{máx}}^2 \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \rightarrow \text{para sinusoidales} \\ (\text{intensidad de una onda sinusoidal en el vacío}) \\ \text{pulsantes} \end{array} \quad (32.29)$$

$$\vec{S} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{c}$$

a)  $\vec{E}$  está en dirección  $-\hat{j}$  y  $\vec{B}$  en dirección  $\hat{k}$

por lo tanto la dirección de  $\vec{S}$  es  $-\hat{i}$ , lo que corresponde con la dirección de la onda.



$$b) |S| = \frac{\vec{E} \cdot \vec{B}}{c\mu_0} \sin(\varphi_0) = \frac{E_0 B_0}{c\mu_0} \cos^2(Kx + \omega t)$$

$$|S| = \frac{1}{2} \int_0^{T_0} \frac{E_0 B_0}{c\mu_0} (1 + \cos(2(\omega t + Kx)))$$

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

$$\frac{I}{c} = P_{\text{rad}}, I = \frac{P}{A}$$

$$c = 3,00 \cdot 10^8$$

$$I = P_{\text{rad}} \cdot c = 9,0 \cdot 10^{-6} \cdot 3,00 \cdot 10^8 = 2,7 \cdot 10^3$$

$$P = IA = 2,7 \cdot 10^3 \cdot \eta_n(s)^2 = 8,5 \cdot 10^5 \text{ [W]}$$

- 32.26** Emisora de televisión. La estación de televisión pública KQED de San Francisco emite una señal de radio sinusoidal con potencia de 316 kW. Suponga que la onda se difunde de manera uniforme en un hemisferio sobre el terreno. En una casa localizada a 5.00 km de la antena, a) ¿qué presión media ejerce esta onda sobre una superficie totalmente reflectante?, b) ¿cuáles son las amplitudes de los campos eléctrico y magnético de la onda y c) ¿cuál es la densidad media de la energía que transporta esta onda? d) Para la densidad de energía del inciso c), ¿qué porcentaje se debe al campo eléctrico y qué porcentaje al campo magnético?

$$P_{\text{rad}} = \frac{zI}{c}, I = \frac{P}{A}, I = \frac{\epsilon_0 c E_0^2}{2}$$

$$E_0 = \frac{\beta_0 c}{2}, U = \epsilon_0 E_0^2, E_{\text{rms}} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}, U_{\text{av}} = \epsilon_0 (E_{\text{rms}})^2$$

1

Cuidado con esto  
no se vio en  
clases!

—

**32.27 • BIO Seguridad del láser.** Si el ojo recibe una intensidad media superior a  $1.0 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ , pueden ocurrir daños a la retina. Esta cantidad se llama el *umbral de daño* de la retina. a) ¿Cuál es la máxima potencia media (en mW) que un haz de láser de 1.5 mm de diámetro puede tener y que aún se considere seguro para verse de frente? b) ¿Cuáles son los valores máximos de los campos eléctrico y magnético del haz en el inciso a)? c) ¿Cuánta energía entregaría el haz en el inciso a) por segundo a la retina? d) Exprese el umbral de daño en  $\text{W/cm}^2$ .

$$I = \frac{P}{A}, A = \pi r^2, r = 7,5 \cdot 10^{-4}$$

$$P = 10^2 \cdot \pi (7,5 \cdot 10^{-4})^2 = 1,8 \cdot 10^{-9} [\text{W}]$$

$$P = 0,18 [\text{mW}]$$

$$b) I = \frac{E_0 C E_0^2}{2} \rightarrow E_0 = \sqrt{\frac{2I}{E_C}} = E = 279 [\text{V/m}]$$

$$\beta_0 = \frac{E_0}{C} = \frac{279}{10^8 \cdot 3} = 9,13 \cdot 10^{-7}$$

$$c) P = 0,18 [\text{mW}] = 0,18 [\text{nJ/s}]$$

$$d) 1 \cdot 10^2 [\text{W/m}^2] \cdot \left[ \frac{1 \cdot \text{m}}{10^2 \text{cm}} \right]^2 = 1 \cdot 10^{-2} [\text{W/m}^2]$$

**32.28 •** En las instalaciones del Simulador Espacial de 25 pies en el Jet Propulsion Laboratory de la NASA, una serie de lámparas de arco elevadas producen luz con una intensidad de  $2500 \text{ W/m}^2$  sobre el piso de las instalaciones. (Esto simula la intensidad de la luz solar cerca del planeta Venus). Calcule la presión media de la radiación (en pascales y en atmósferas) sobre a) una sección totalmente absorbente del piso, y b) una sección totalmente reflectante del piso. c) Calcule la densidad media de momento electromagnético (momento electromagnético por unidad de volumen) de la luz en el piso.

$$P_{\text{rad}} = \frac{I}{C}, 1 \text{atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}, P_{\text{rad}} = \frac{2I}{C}$$

$$a) \frac{2500 [\text{W/m}^2]}{3 \cdot 10^8 [\text{m/s}]} = 833 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{8,33 \cdot 10^{-6} [\text{Pa}]}{1,013 \cdot 10^5 [\text{Pa/atm}]} = 8,22 \cdot 10^{-11} [\text{atm}]$$

$$b) \frac{2 \cdot 2500}{3 \cdot 10^8} = 1,67 \cdot 10^{-5} [\text{Pa}]$$

$$\frac{1,67 \cdot 10^{-5}}{1,013 \cdot 10^5} = 1,65 \cdot 10^{-10}$$

$$c) \frac{dP}{dV} = \frac{S_{\text{av}}}{C^2} = \frac{I}{C^2} = \frac{2500 [\text{W/m}^2]}{(3 \cdot 10^8 [\text{m/s}])^2} = 278 \frac{[\text{kg}]}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

**32.29 • Láseres de laboratorio.** Láseres de He-Ne se utilizan a menudo en demostraciones de física. Producen luz de longitud de onda de 633 nm y una potencia de propagación de 0.500 mW sobre un haz cilíndrico de 1.00 mm de diámetro (aunque estas cantidades pueden variar). *a)* ¿Cuál es la intensidad de este haz de láser? *b)* ¿Cuáles son los valores máximos de los campos eléctrico y magnético? *c)* ¿Cuál es la densidad de energía media en el haz de láser?

**32.30 •• Navegación solar 1.** Durante el año 2004, científicos japoneses probaron con éxito dos velas solares. Una tenía una forma algo complicada que se podría modelar como un disco de 9.0 m de diámetro y 7.5  $\mu\text{m}$  de espesor. La intensidad de la energía solar en esa ubicación era alrededor de  $1400 \text{ W/m}^2$ . *a)* ¿Qué fuerza tenía que ejercer la luz del Sol sobre esta vela, suponiendo que incide perpendicularmente sobre ella, y que esta última es perfectamente reflectante? *b)* Si la vela estuviera hecha de magnesio, con densidad de  $1.74 \text{ g/cm}^3$ , ¿qué aceleración daría la radiación del Sol a la vela? *c)* La aceleración parece ser lo suficientemente grande para ser viable para un vuelo espacial? ¿De qué manera podría la vela modificarse para aumentar su aceleración?