



LAS ECUACIONES DE MAXWELL Y LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

CLASES de ondas según el medio en que se propagan

- **Ondas mecánicas**: las ondas mecánicas necesitan un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) para propagarse. Las partículas del medio oscilan alrededor de un punto fijo, por lo que no existe transporte neto de materia a través del medio. Como en el caso de una alfombra o un látigo cuyo extremo se sacude, la alfombra no se desplaza, sin embargo una onda se propaga a través de ella. Dentro de las ondas mecánicas tenemos las ondas elásticas, las ondas sonoras y las ondas de gravedad.
- **Ondas electromagnéticas**: las ondas electromagnéticas se propagan por el espacio sin necesidad de un medio pudiendo, por tanto, propagarse en el vacío. Esto es debido a que las ondas electromagnéticas son producidas por las oscilaciones de un campo eléctrico en relación con un campo magnético asociado.

En función de la dirección de la perturbación

- ondas longitudinales: el movimiento de las partículas que transportan la onda es paralelo a la dirección de propagación de la onda. Por ejemplo, un muelle que se comprime da lugar a una onda longitudinal.
- ondas transversales: las partículas se mueven perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda.

ONDAS (1dim.)

- Expresión matemática → Función oscilante $\xi(x,t)$ que verifica una ecuación

$$v^2 \frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial t^2}$$

- Solución = onda hacia la derecha con velocidad v + onda hacia la izquierda con velocidad $-v$

$$\xi(x,t) = F_1(x - vt) + F_2(x + vt)$$

1.2 Solución general

Función oscilante

$$\xi(x, t) = \xi_0 \text{sen}[k(x - vt) + \varphi]$$

The diagram shows the general wave function $\xi(x, t) = \xi_0 \text{sen}[k(x - vt) + \varphi]$ enclosed in a light blue box. Below the box, four labels in light blue boxes are connected to parts of the equation by arrows: 'Amplitud' points to ξ_0 , 'Nº ondas' points to k , 'velocidad onda' points to v , and 'Fase' points to φ .

Amplitud

Nº ondas

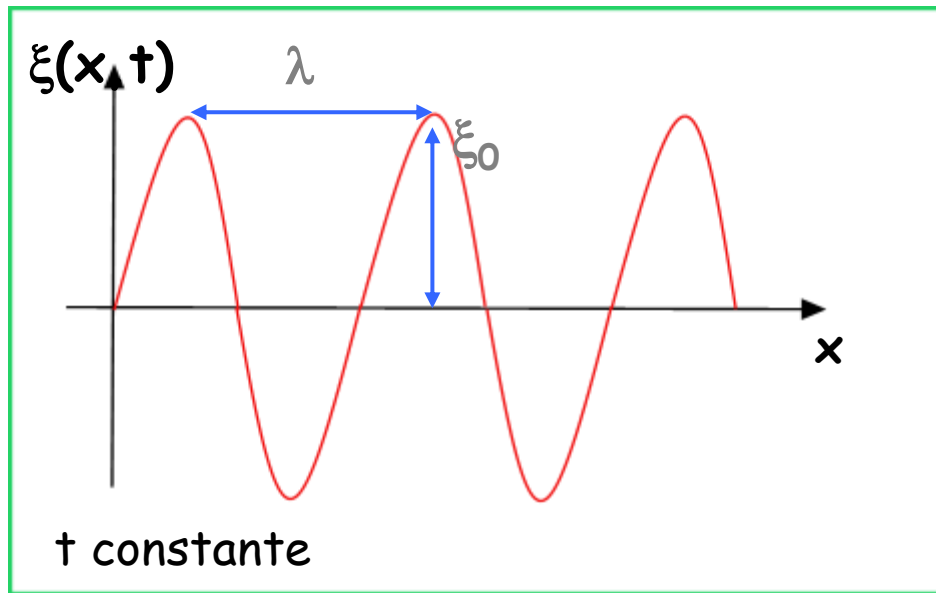
velocidad onda

Fase

Longitud de onda

Frecuencia Periodo

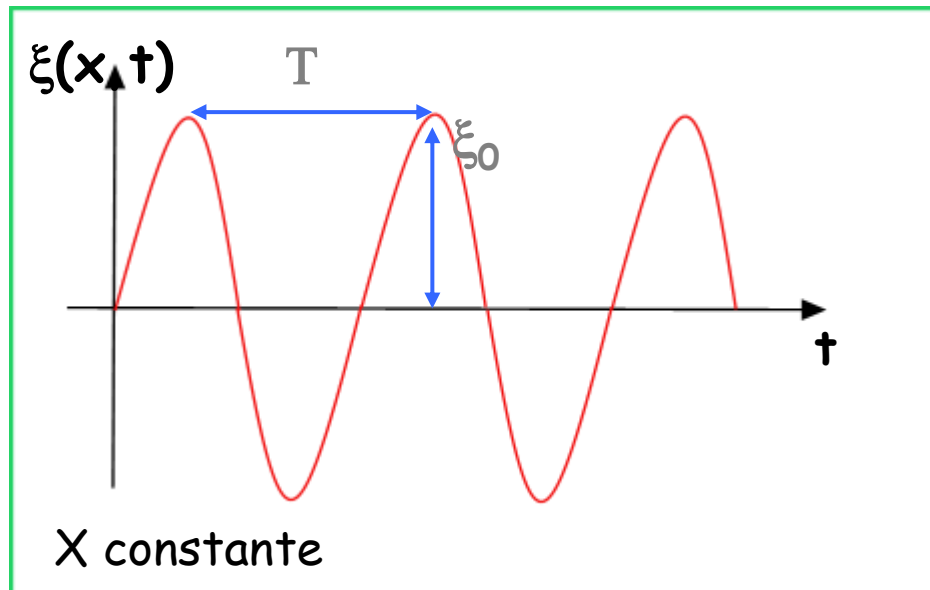
Período



$$K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\omega = Kv = 2\pi v$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$



Velocidad de la onda

$$\lambda v = v$$

Maxwell Equations

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

(ley de Gauss para campos $\vec{E}$)

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

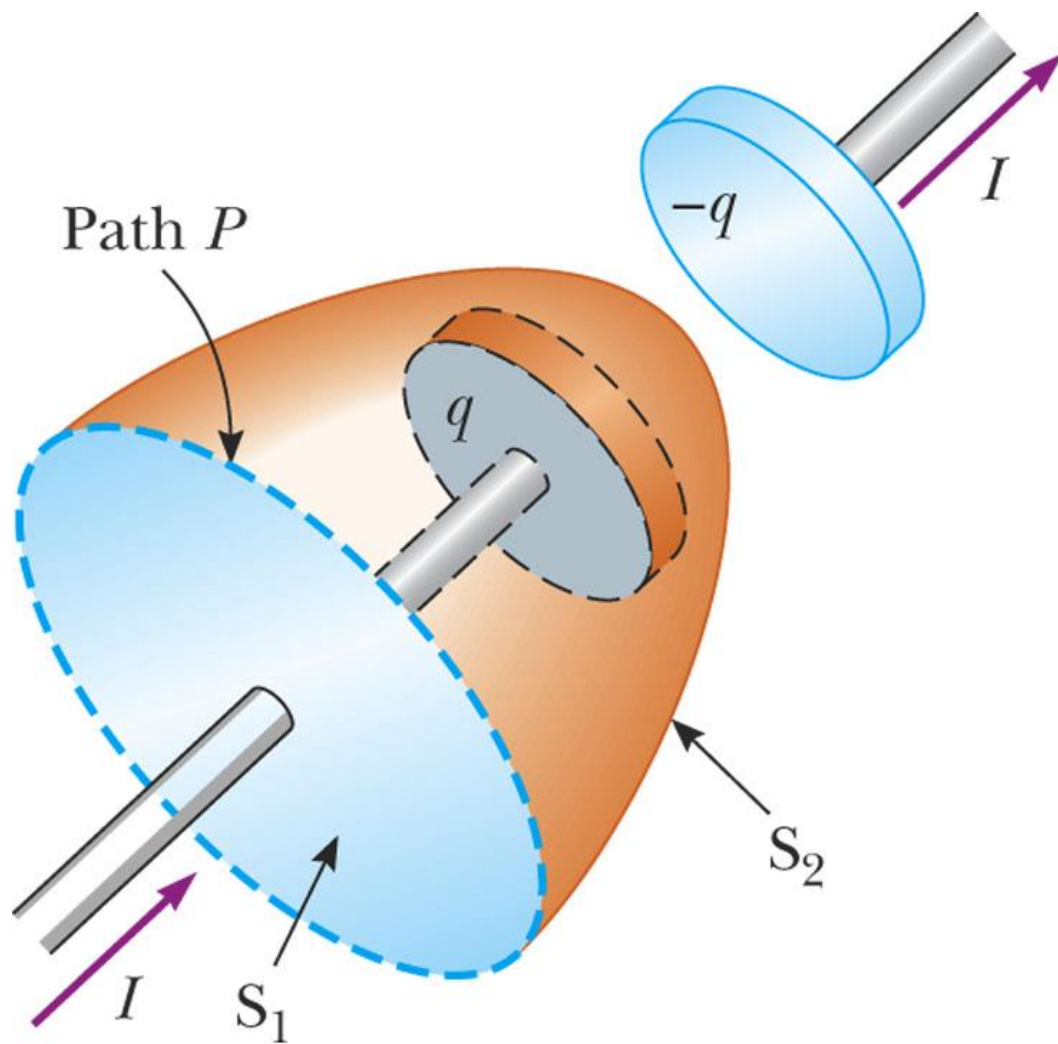
(ley de Gauss para campos $\vec{B}$)

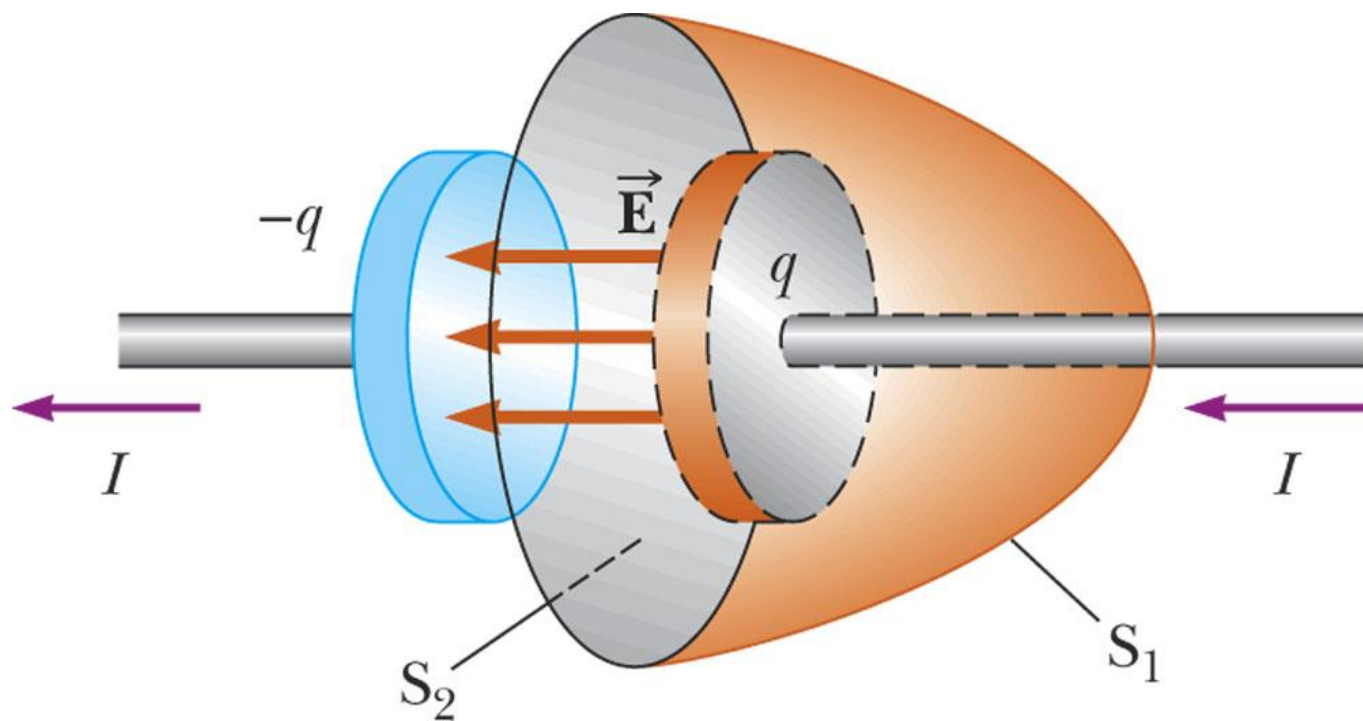
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

(ley de Faraday)

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i_C + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)_{\text{enc}} \quad (29.20)$$

(ley de Ampère que incluye la corriente de desplazamiento)

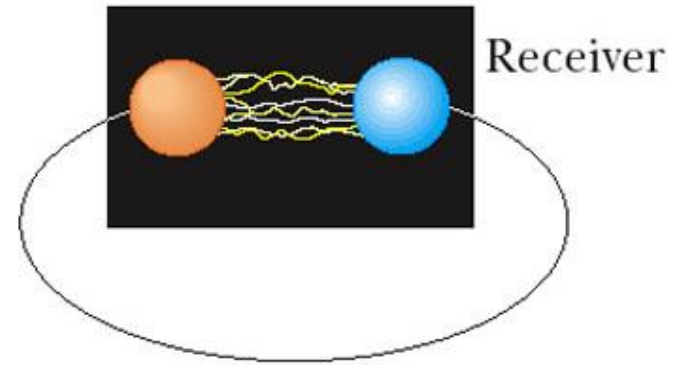
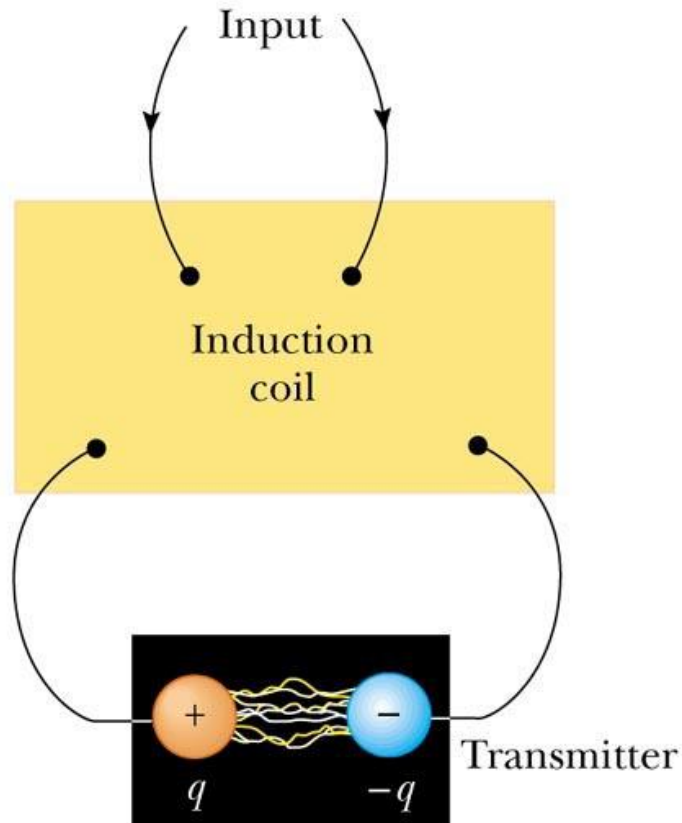




© 2006 Brooks/Cole - Thomson

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_o(I + I_d) = \mu_o I + \mu_o \epsilon_o \frac{d\Phi_E}{dt}$$

EXPERIENCIA DE HERTZ



Se transfiere energía en forma de ondas (Ondas EM).

Las ondas existen y tienen la misma propiedad de la luz (reflexión, refracción, difracción)

Ellas tienen distintas frecuencias u longitudes de onda en las cuales $v = f \lambda$ con $v = 3 \times 10^8$ m/s.

Éste es el valor experimental de la velocidad de la luz. Esto sugiere que la luz es una onda electromagnética.

Cuando un campo eléctrico o un campo magnético cambia en el tiempo, se crea una onda que viaja a una velocidad c , dada por:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

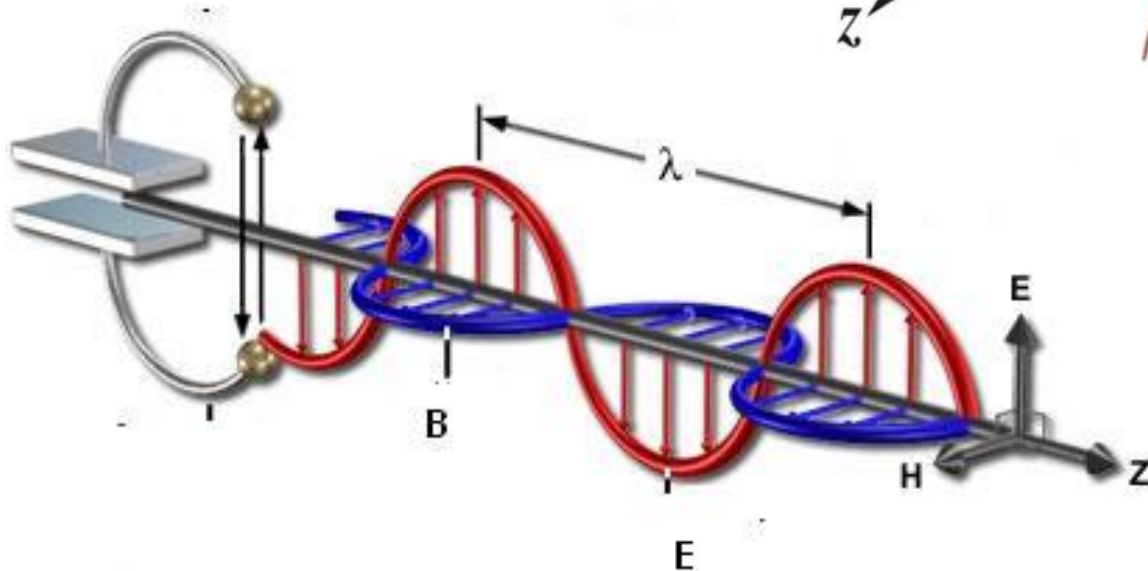
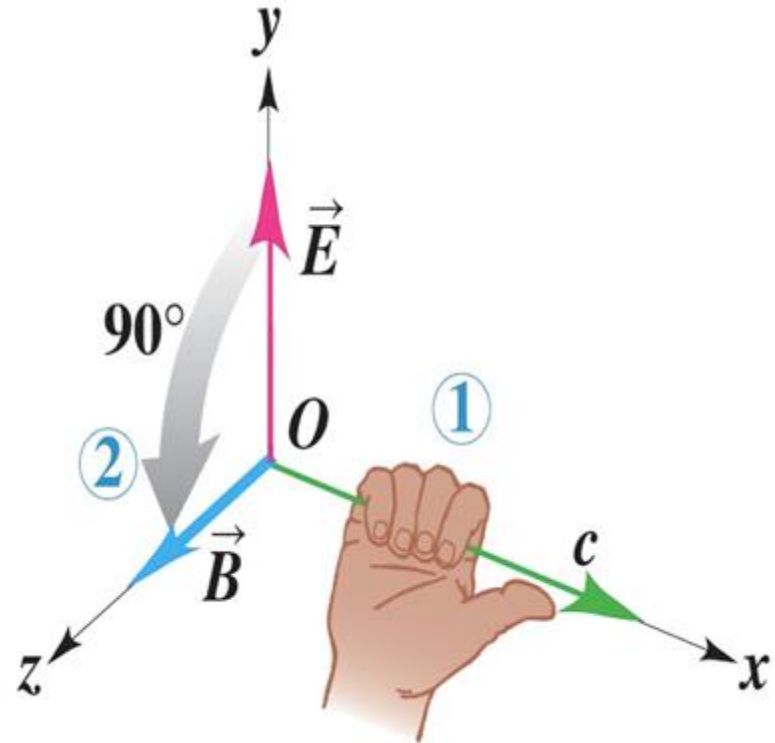
Puede viajar a través del espacio vacío o a través de algunos materiales sólidos.

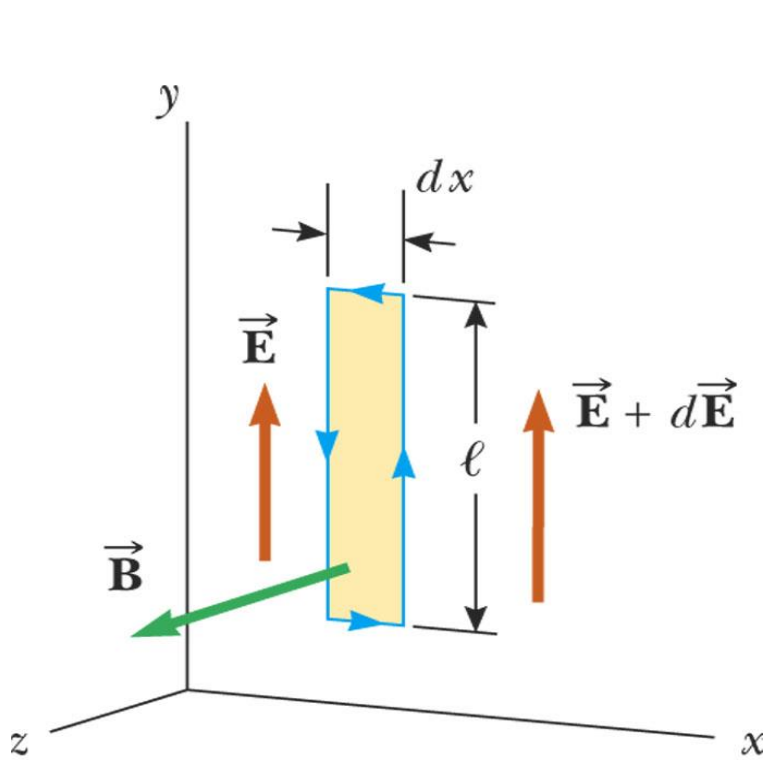
El campo eléctrico y el campo magnético son perpendiculares uno del otro y son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.

Las ondas EM son sinusoidales

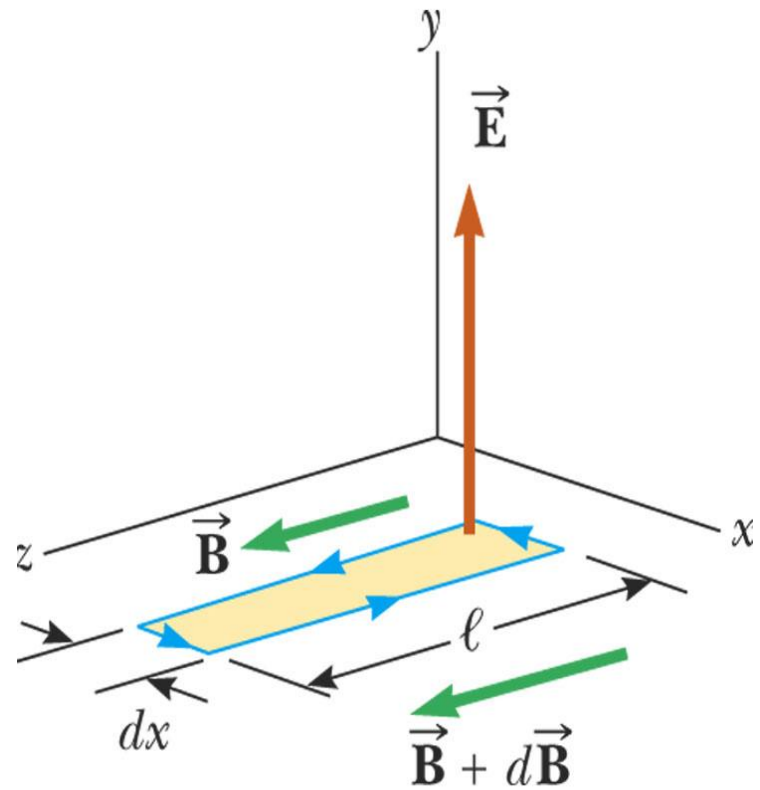
$$E(x,t) = E_0 \sin[k(x - vt)]$$

$$B(x,t) = B_0 \sin[k(x - vt)]$$



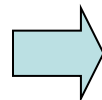


© 2006 Brooks/Cole - Thomson



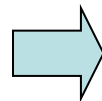
© 2006 Brooks/Cole - Thomson

$$v^2 \frac{\partial^2 E(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 E(x,t)}{\partial t^2}$$

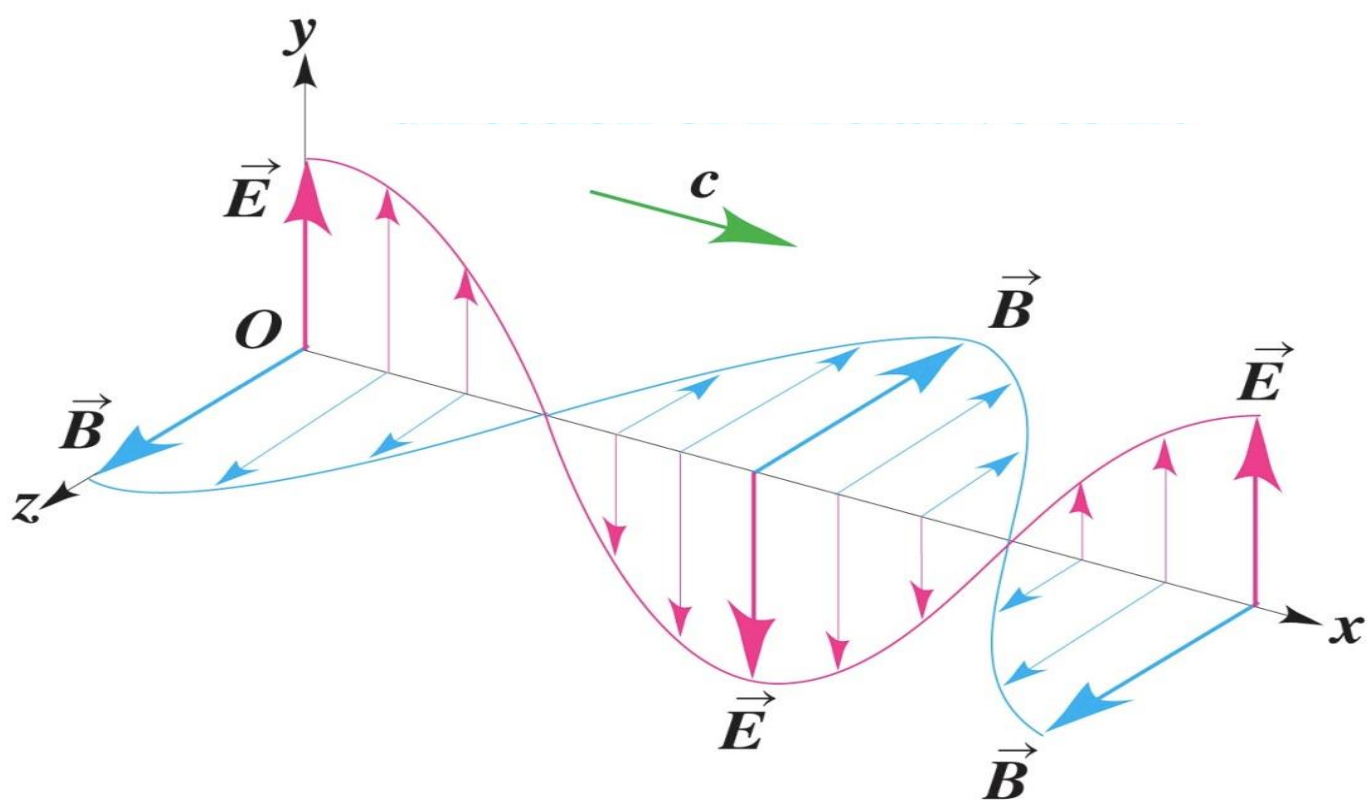


$$E(x,t) = E_0 \sin[k(x - vt)]$$

$$v^2 \frac{\partial^2 B(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 B(x,t)}{\partial t^2}$$



$$B(x,t) = B_0 \sin[k(x - vt)]$$



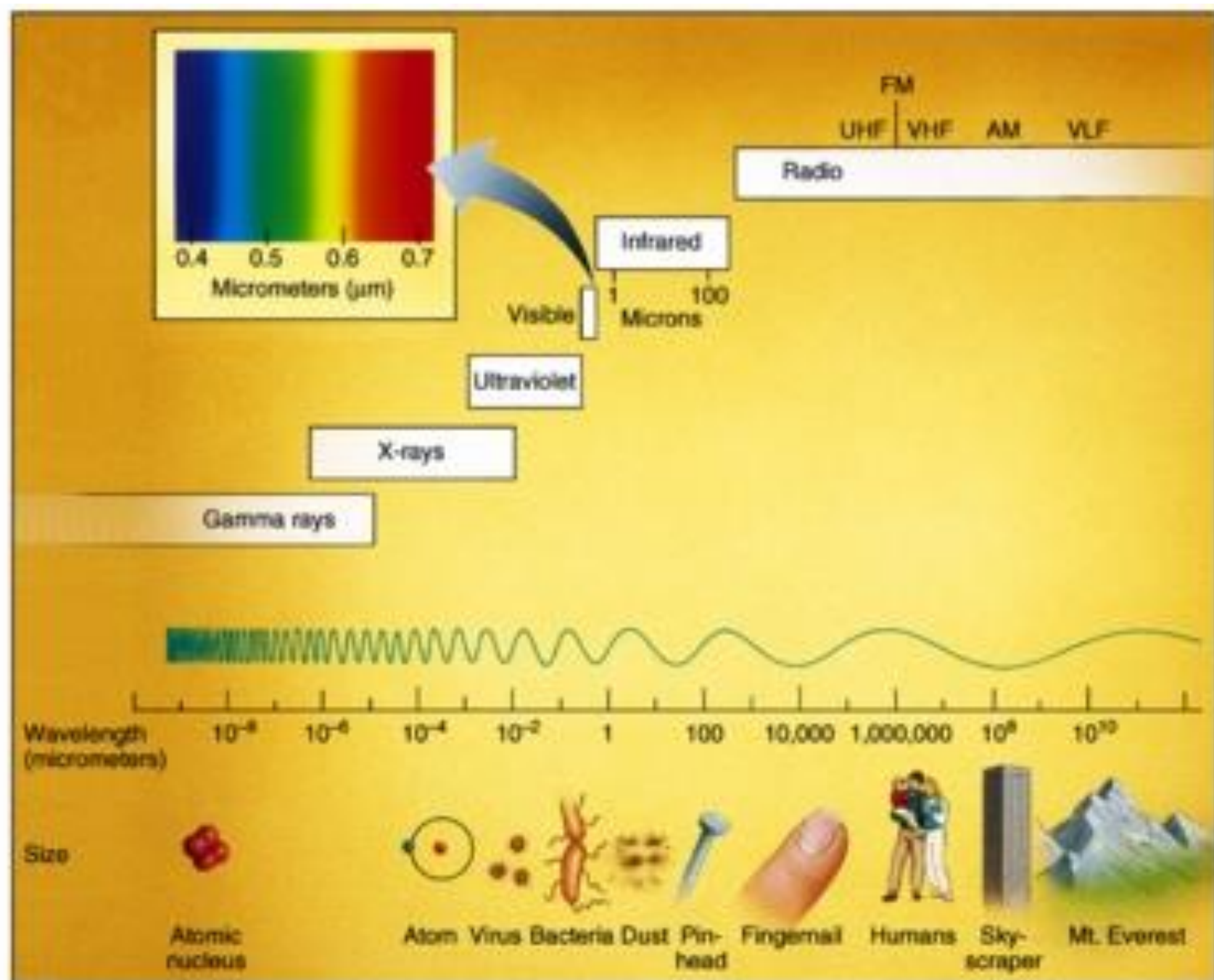
$$E = E_{\max} \sin\left(2\pi \left[\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right]\right) = E_{\max} \sin(\omega t - kx)$$

$$B = B_{\max} \sin\left(2\pi \left[\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right]\right) = B_{\max} \sin(\omega t - kx)$$

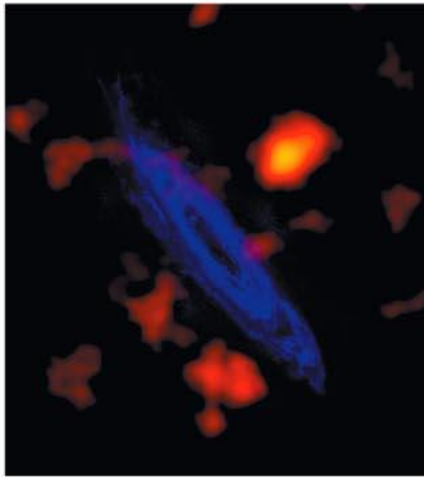
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$E_{\max} = cB_{\max}$$

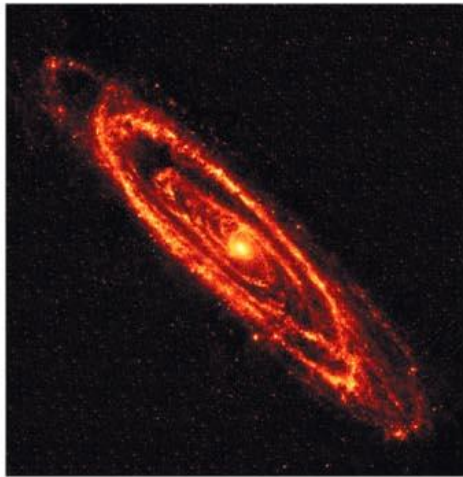
$$\lambda = \frac{c}{f}$$



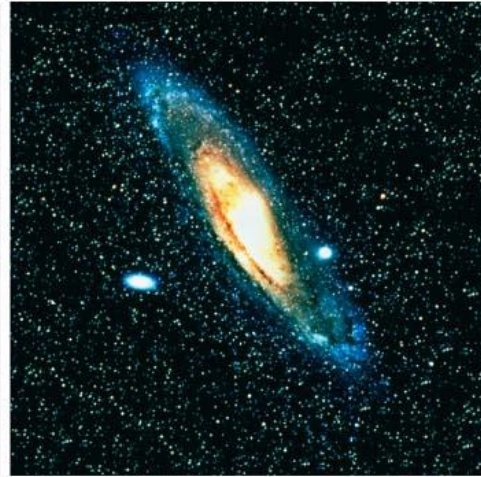
Images at different wavelengths for modern astronomy.



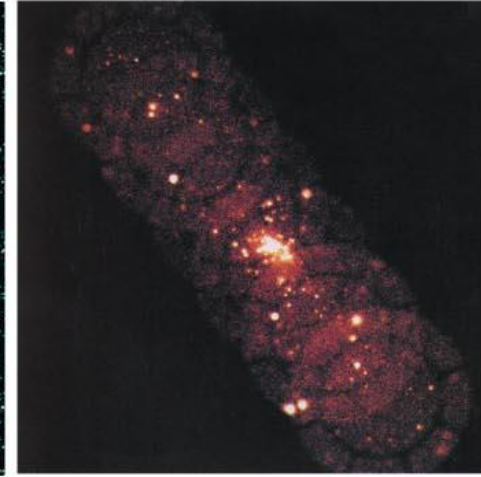
Radio This image combines a high-resolution radio image of the galaxy disk (blue) with a larger-scale image of the surrounding regions of space (red). Both images are sensitive to hydrogen gas. The clouds of hydrogen gas surrounding the galaxy are invisible in other spectral bands.



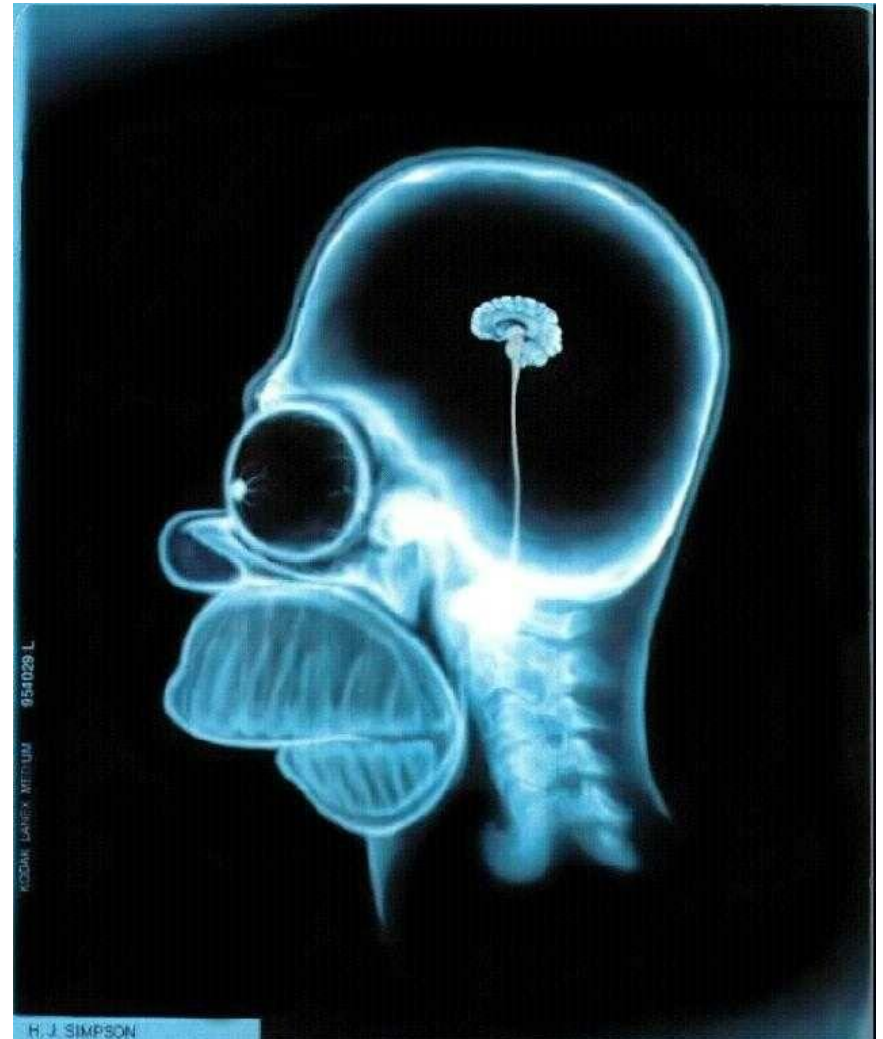
Infrared The wavelengths used for this image are particularly sensitive to the warm dust present in star-forming regions. Because these regions occur in galactic arms, the image shows the galaxy's arm structure especially clearly.



Visible In the visible we see mainly the light of stars, blocked in places by dark streamers of dust. Regions containing mostly old stars appear yellow white; star-forming regions containing young stars have a blue cast.



X-ray This x-ray image of the central part of the galaxy's disk shows many point sources of x rays, including a cluster near the galaxy's center. These points are mostly *x-ray binaries* containing a normal star orbiting a neutron star or black hole. The hot disk around the galaxy's central black hole also radiates x rays.



A sinusoidal electromagnetic wave of frequency 40.0 MHz travels in free space in the x direction as in Figure 24.6.

A Determine the wavelength and period of the wave.

Solution Because $c = \lambda f$ and we know that $f = 40.0 \text{ MHz} = 4.00 \times 10^7 \text{ Hz}$, we have

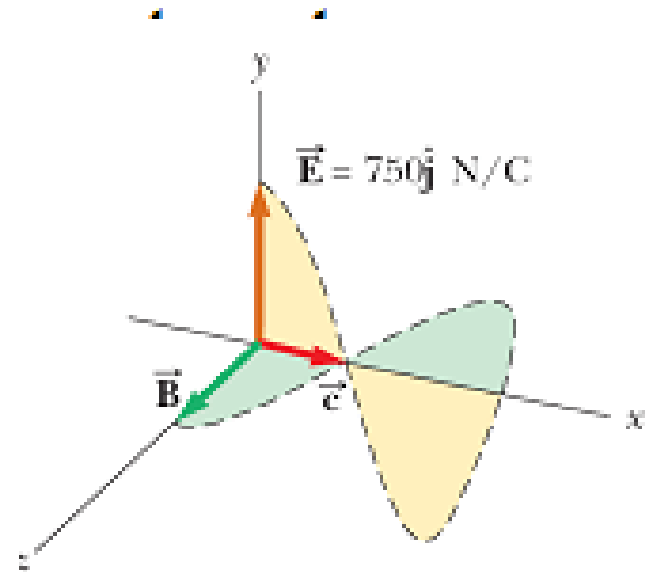
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{4.00 \times 10^7 \text{ Hz}} = 7.50 \text{ m}$$

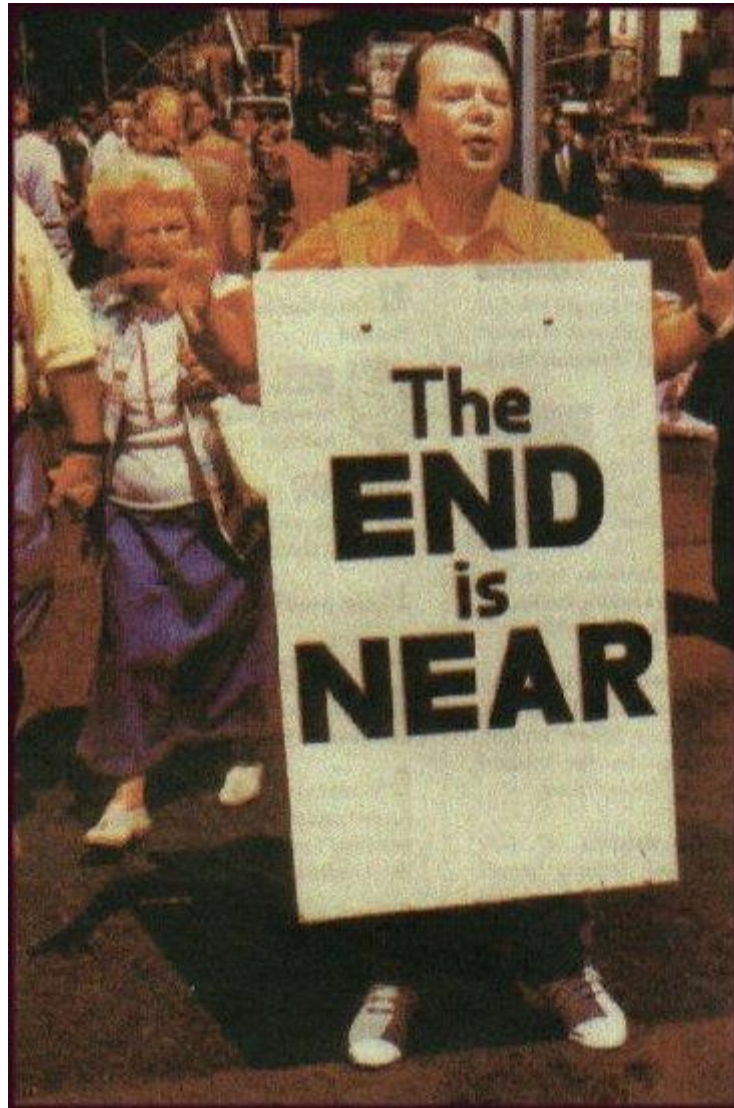
The period T of the wave equals the inverse of the frequency, so

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4.00 \times 10^7 \text{ Hz}} = 2.50 \times 10^{-8} \text{ s}$$

B At some point and at some instant, the electric field has its maximum value of 750 N/C and is along the y axis. Calculate the magnitude and direction of the magnetic field at this position and time.

Solution From Equation 24.21, we see that





At least of this course.