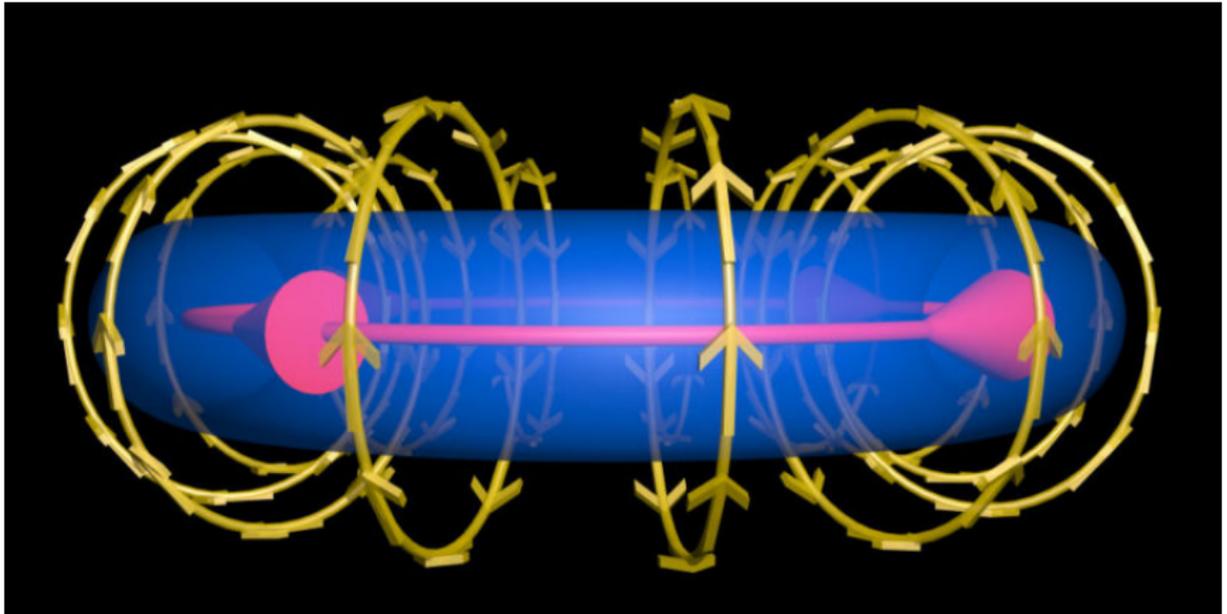
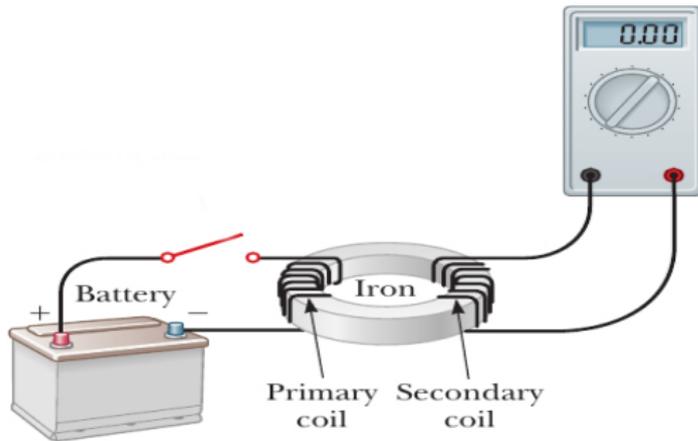


## 5. Electromagnetismo



# Inducción

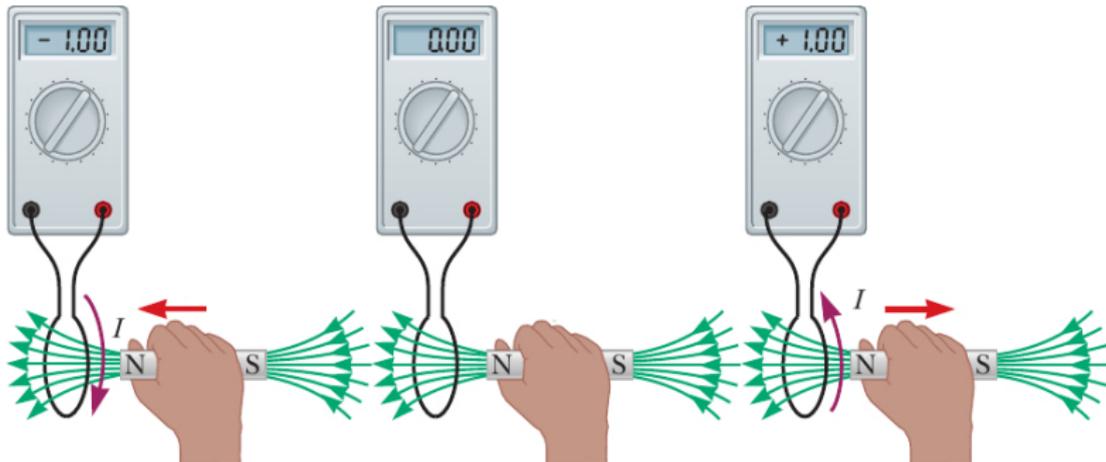


By kind permission of the President and Council of the Royal Society

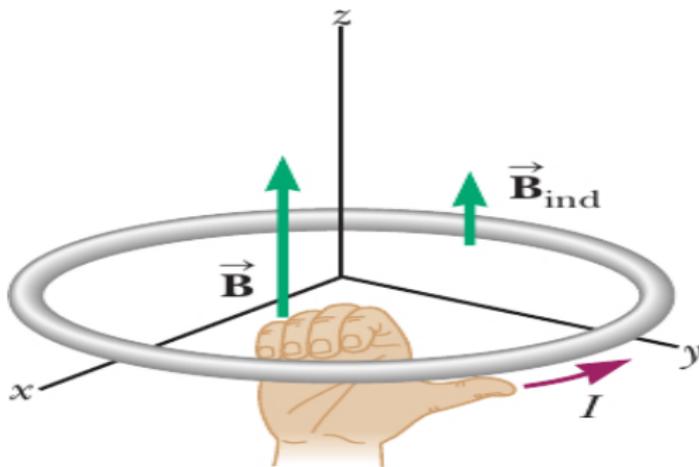
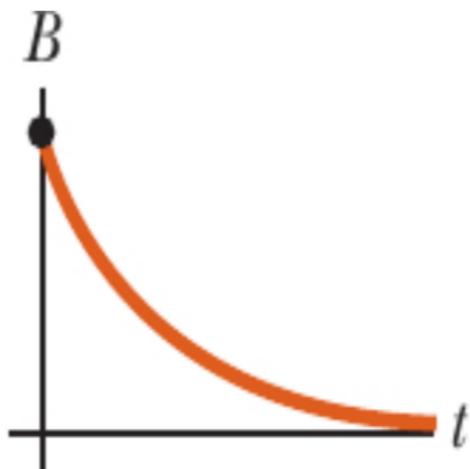


Michael Faraday  
(1797–1867)

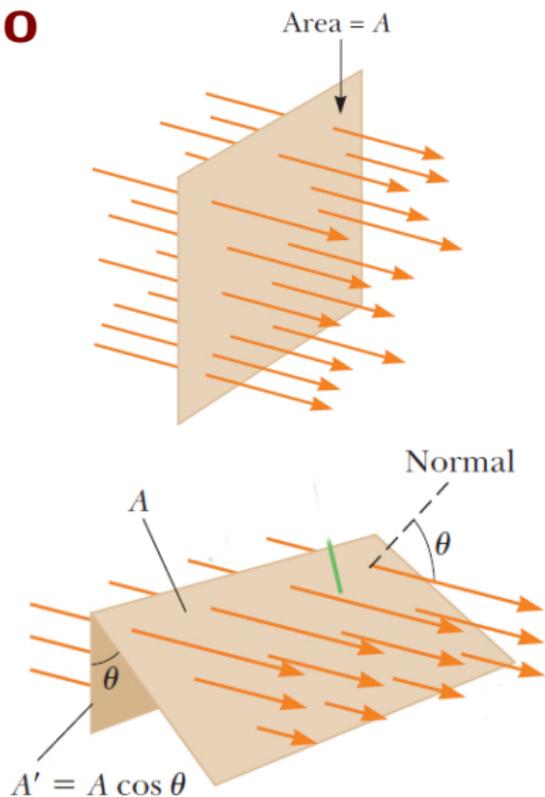
# Corriente Inducida



# Corriente Inducida

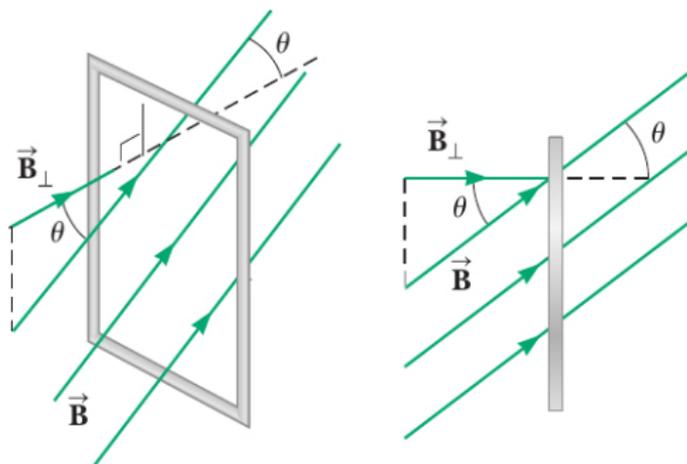


# Flujo



Se define el vector área  $A$ , perpendicular a la superficie (normal). El ángulo  $\theta$  se mide entre la normal y el campo incidente.

# Flujo Magnético



$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = |B| |A| \cos(\theta)$$

Unidades:  $T m^2$  : Weber (Wb)

# Flujo Magnético

## Problema 0.1

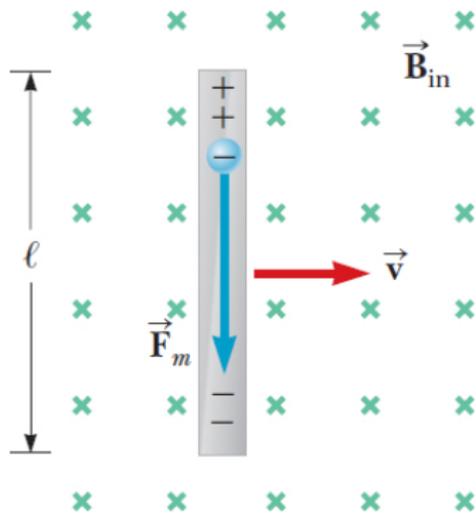
Argentina tiene una superficie de  $2.8 \times 10^6 \text{ km}^2$ . La superficie de Groenlandia es  $2.2 \times 10^6 \text{ km}^2$ . ¿Dónde es mayor el flujo del campo magnético terrestre?

# Ley de Faraday–Lenz

Si el flujo magnético que atraviesa una espira varía en  $\Delta\Phi$  durante un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , se induce sobre esta una fuerza electromotriz promedio

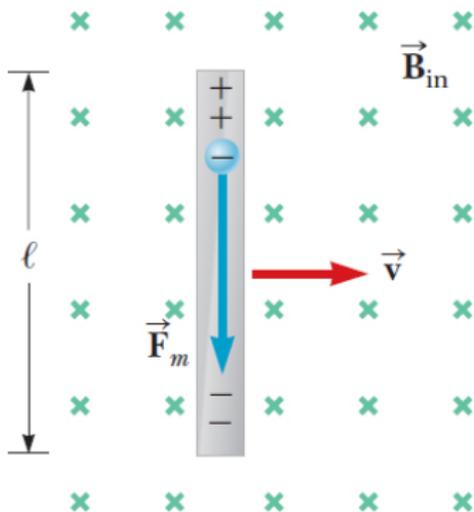
$$\epsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

# Origen de la FEM Inducida



- ▶ Debido a  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$ , los electrones sufren una fuerza de Lorentz **hacia abajo**.
- ▶ Como en un metal hay electrones libres, estos se desplazan según esta fuerza, acumulándose cargas positivas arriba y negativas abajo.
- ▶ La separación de cargas produce un campo eléctrico orientado hacia abajo, que en los electrones significa una fuerza **hacia arriba**.

# Origen de la FEM Inducida



- ▶ El estado de equilibrio se adquiere cuando  $qE = qvB$ , es decir:

$$E = vB.$$

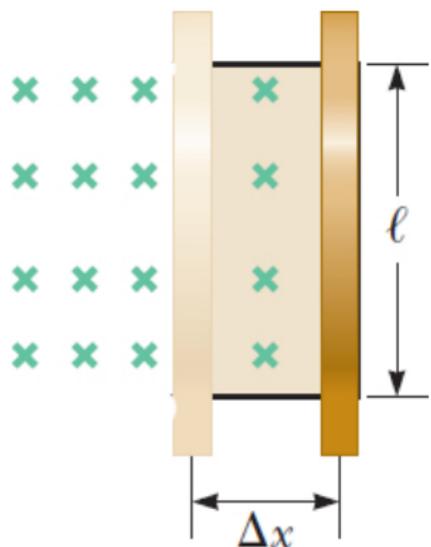
- ▶ La relación entre el campo eléctrico y la FEM es

$$\Delta V = El$$

- ▶ Reemplazando, se obtiene:

$$\Delta V = El = Blv$$

# Origen de la FEM Inducida



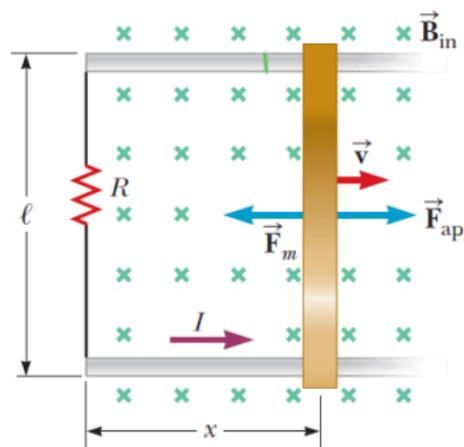
$$\Delta V = El = Blv$$

- ▶ La barra se mueve una distancia  $\Delta x$  en un tiempo  $\Delta t$ .
- ▶ El campo magnético ahora atraviesa un área mayor, que se incrementó en  $\Delta A = l \Delta x$ .
- ▶ El flujo se incrementó en  $\Delta \Phi = B \Delta A = Bl \Delta x$ .

$$|\epsilon| = Blv = Bl \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

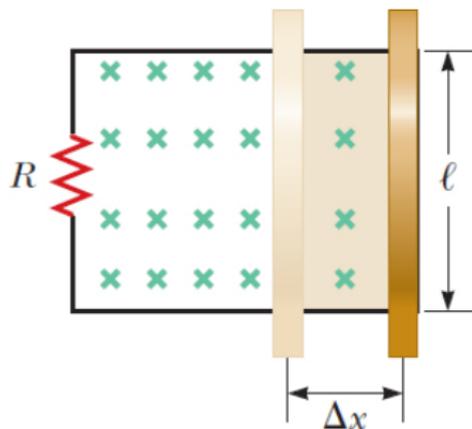
# Origen de la FEM Inducida: Espira cerrada

La barra conductora se mueve en sentido  $+\hat{x}$ , con velocidad  $\vec{v}$ , bajo la influencia de una fuerza aplicada  $\vec{F}_{ap}$



- ▶ Aparece, en consecuencia, una fuerza magnética que lleva a los electrones hacia abajo, y produce un campo eléctrico (y una FEM) en la barra.
- ▶ Esta FEM, a su vez, produce una corriente en la espira, en sentido **anti horario**.
- ▶ En la barra, esta corriente es **hacia arriba**.
- ▶ La corriente hacia arriba, y el campo  $\vec{B}$  hacia adentro, producen una fuerza de Lorentz  $\vec{F}_m$  **hacia la izquierda**.

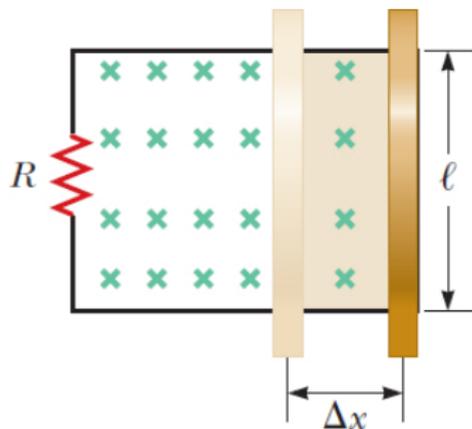
# Origen de la FEM Inducida: Espira cerrada



- ▶ La barra se mueve una distancia  $\Delta x$  en un tiempo  $\Delta t$ .
- ▶ El campo magnético ahora atraviesa un área mayor, que se incrementó en  $\Delta A = l \Delta x$ .
- ▶ El flujo se incrementó en  $\Delta \Phi = B \Delta A = B l \Delta x$ .

$$|\epsilon| = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = B l \frac{\Delta x}{\Delta t} = B l v$$

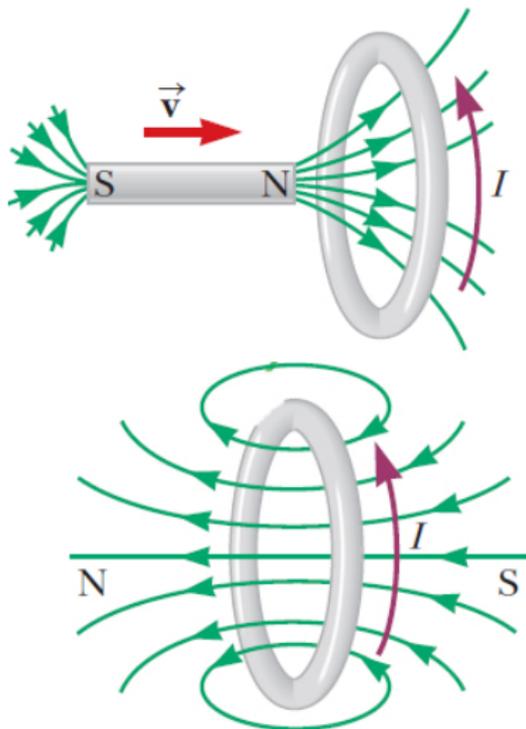
# Origen de la FEM Inducida: Espira cerrada



- Si la resistencia es  $R$ , entonces:

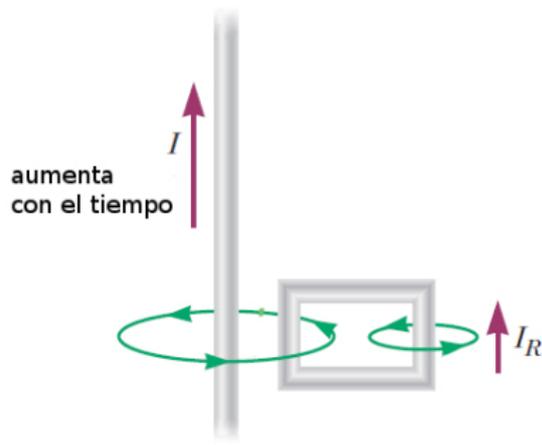
$$I = \frac{|\epsilon|}{R} = \frac{Blv}{R}$$

# Ejemplos



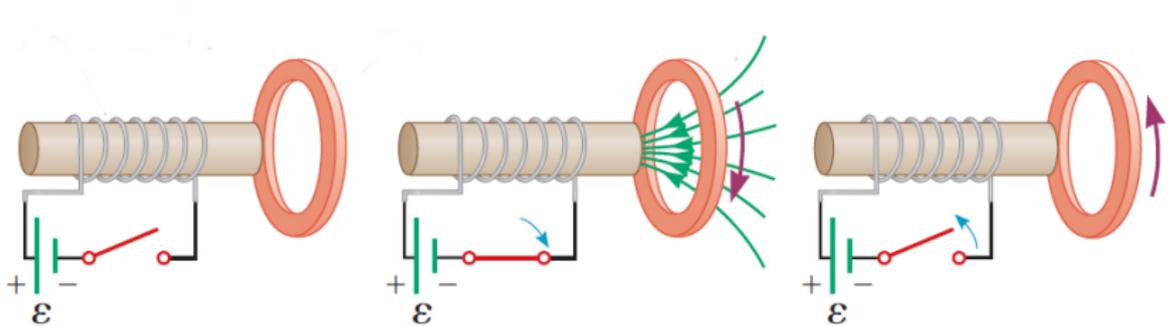
1. El imán se mueve hacia la derecha.
2. El flujo magnético en la espira aumenta.
3. El **cambio de flujo** induce una corriente en la espira, que cancela este aumento de flujo, es decir en sentido contrario **AL AUMENTO** de  $\Phi$ .

# Ejemplos



1. La corriente en el conductor a la izquierda aumenta en el tiempo.
2. El campo magnético resultante en la espira (hacia adentro), aumenta.
3. Se induce en la espira una corriente  $I_R$ , de manera que se oponga **AL AUMENTO** del flujo. En este caso, debe generar un campo  $\vec{B}_{ind}$  hacia afuera.
4. Esto se hace, con una circulación de corriente  $I_R$  antihoraria.

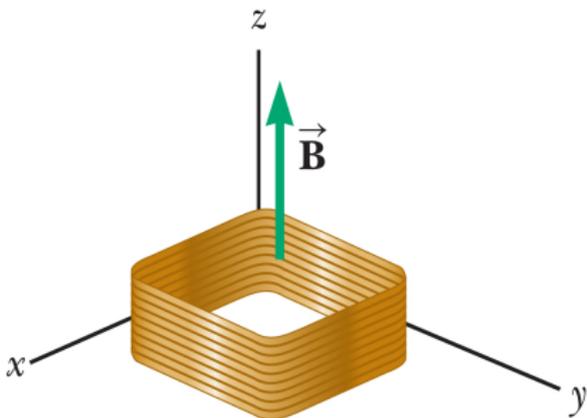
# Ejemplos



# Ley de Faraday–Lenz

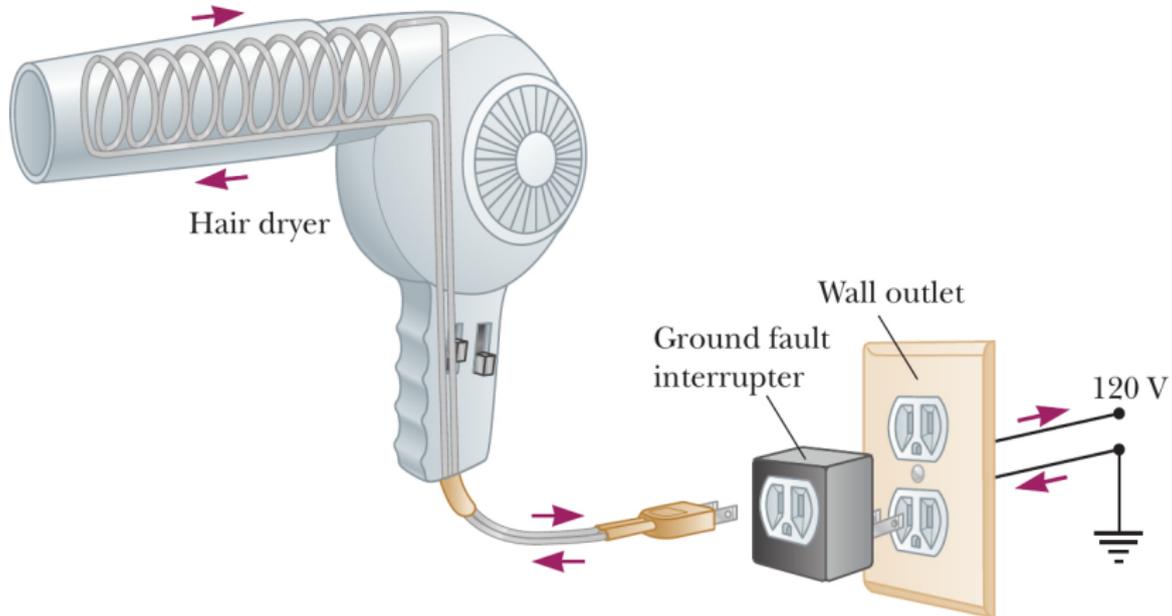
## Problema 0.2

Una bobina de  $N = 25$  vueltas está enrollada en un marco cuadrado de  $l = 1.80$  cm de lado. La resistencia total de la bobina es  $R = 0.350 \Omega$ . Se aplica un campo magnético perpendicular al plano de la bobina.

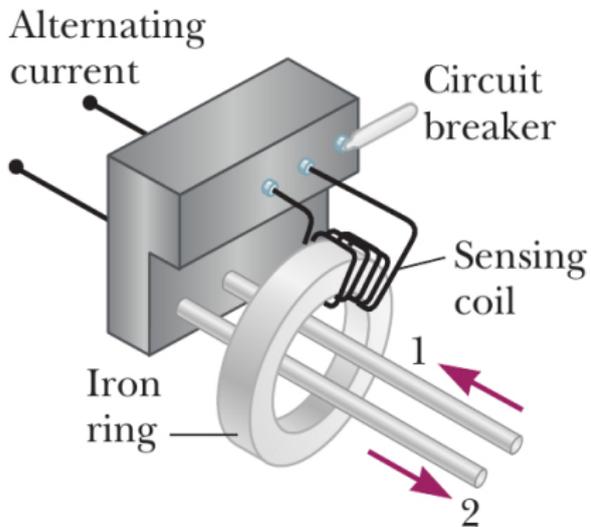


1. El campo magnético cambia uniformemente de  $B_i = 0.00$  T, a  $B = 0.500$  T en 0.800 segundos. Calcular la fem inducida en la bobina. ( $\epsilon = -5.06$  V).
2. Calcular la magnitud y la dirección de la corriente inducida durante este cambio. ( $I = 1.45 \times 10^{-2}$  A, mirado desde arriba es horario).

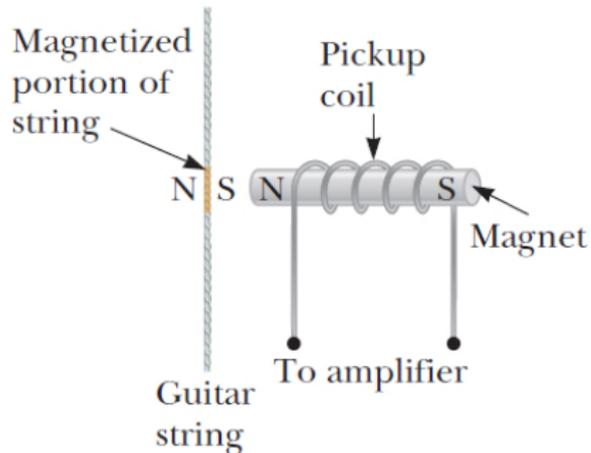
# Aplicaciones: Interruptor de falla a tierra



# Aplicaciones: Interruptor de falla a tierra



# Aplicaciones: Guitarra Eléctrica



© Charles D. Winters/Cengage Learning

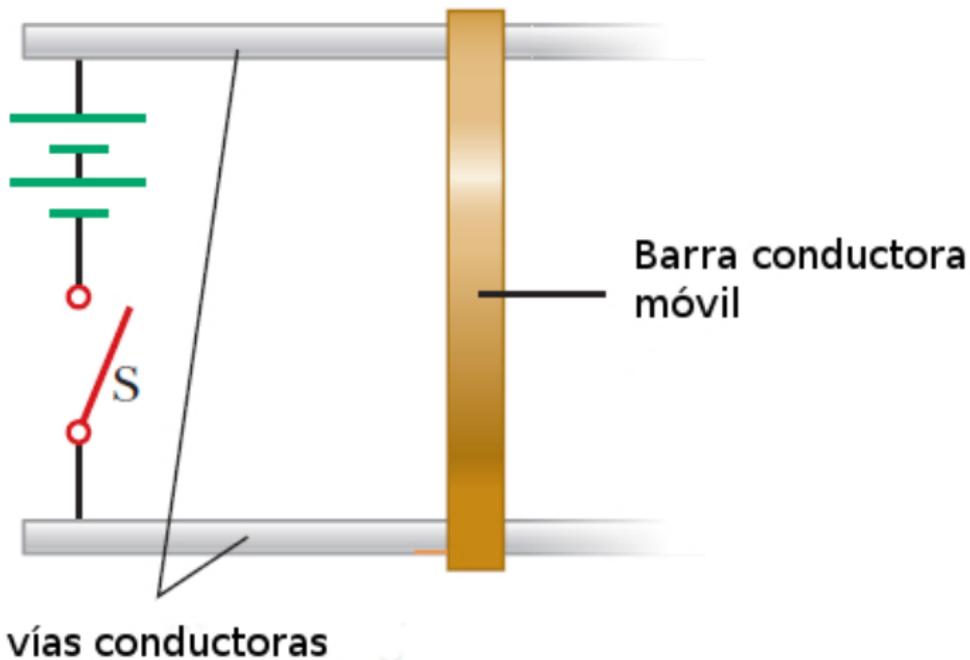


# Aplicaciones: Monitor de apnea

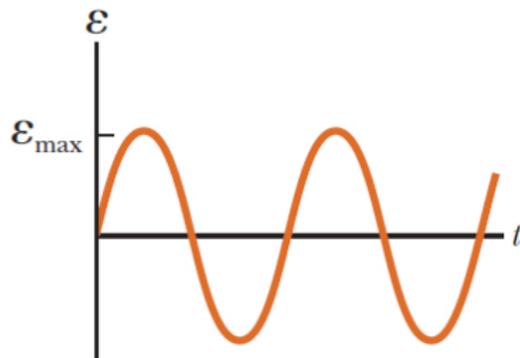
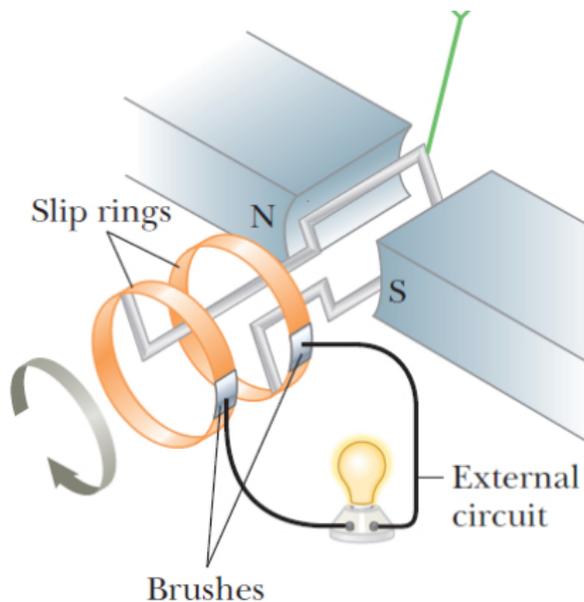
Courtesy of PedsLink Pediatric Healthcare Resources, Newport Beach, CA



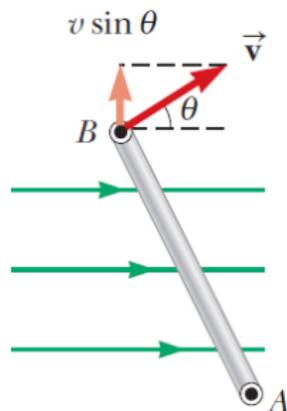
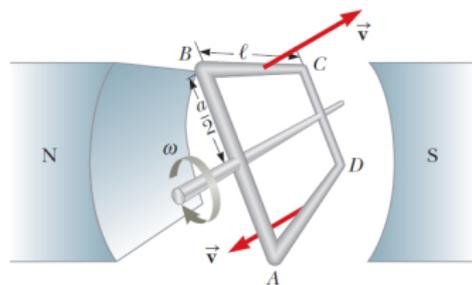
# Aplicaciones: Catapulta



# Generador AC

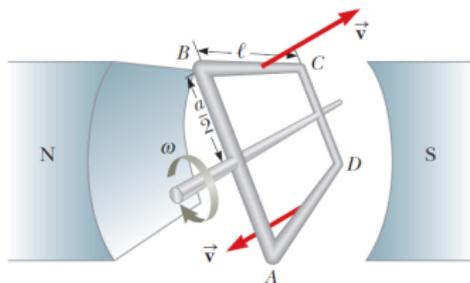


# Generador AC

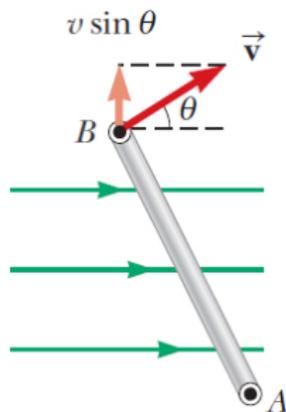


- ▶ La componente de  $\vec{v}$  perpendicular a  $B$  hace mover los electrones desde  $C$  hacia  $B$ , y desde  $A$  hacia  $D$ .
- ▶  $\epsilon = \epsilon_{CB} + \epsilon_{AD} = Blv_{\perp} + Blv_{\perp} = 2Blv_{\perp}$ .
- ▶  $\epsilon = 2Blv \sin(\theta)$ .
- ▶  $v = (a/2)\omega$  y  $\theta = \omega t$ .

# Generador AC

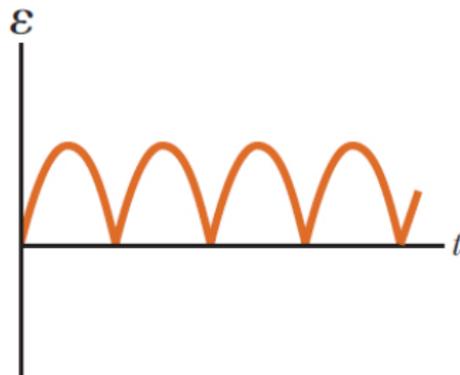
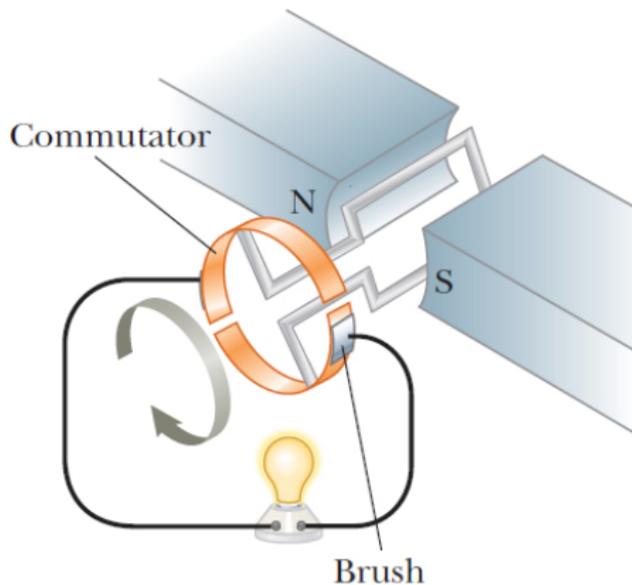


- ▶  $\epsilon = 2 B l \frac{a}{2} \omega \sin(\omega t) = B l a \omega \sin(\omega t) = B A \omega \sin(\omega t).$
- ▶  $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = B A \cos(\omega t).$
- ▶  $\frac{\Delta(A \cos(\omega t))}{\Delta t} = -\omega \sin(\omega t).$
- ▶  $\epsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$
- ▶ Si tenemos  $N$  espiras:

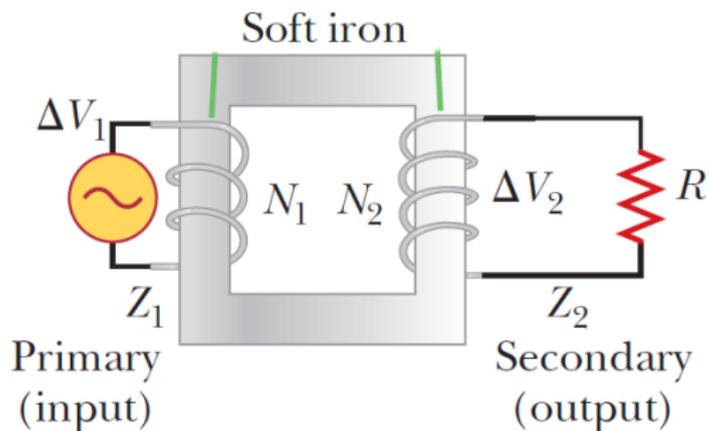


$$\epsilon_{max} = N B A \omega$$

# Generador DC



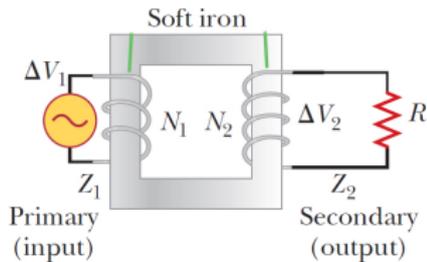
# Transformador



- ▶  $\Delta V_1 = -N_1 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$
- ▶  $\Delta V_2 = -N_2 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$

$$\Delta V_2 = \Delta V_1 \frac{N_2}{N_1}$$

# Transformador

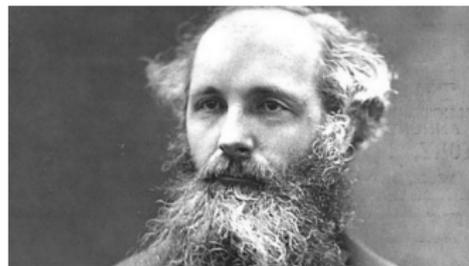


© George Sample/Cengage Learning

- ▶  $\Delta V_2 = \Delta V_1 \frac{N_2}{N_1}$
- ▶ La energía (y por lo tanto, la potencia) se deben conservar:
- ▶  $I_1 \Delta V_1 = I_2 \Delta V_2$ .

# Leyes de Maxwell

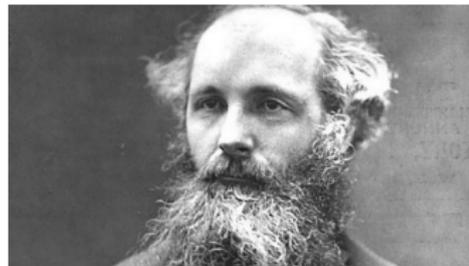
- ▶ Líneas de campo eléctrico se originan en cargas positivas y terminan en cargas negativas (Ley de Coulomb).
- ▶ Líneas de campo magnético siempre están en bucles cerrados (no empiezan ni terminan).
- ▶ Cargas en movimiento generan campos magnéticos (Ley de Ampere).
- ▶ Un campo magnético variable induce una diferencia de potencial, y por lo tanto, un campo eléctrico (Ley de Faraday).



James Clerk Maxwell  
(1831–1879)

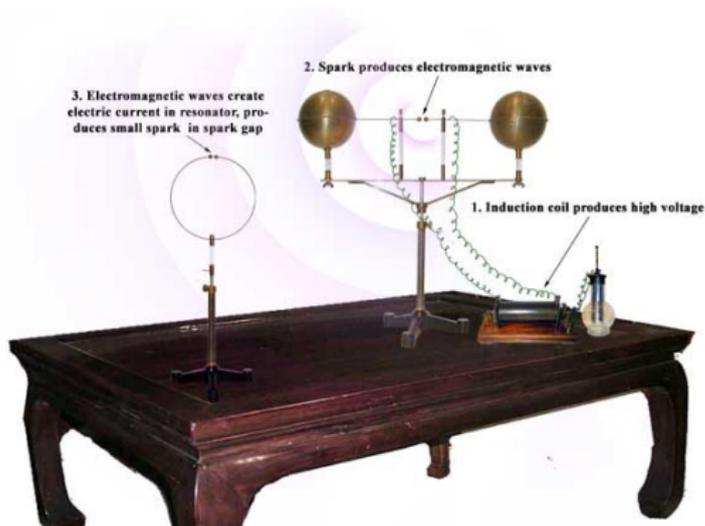
# Campo Electromagnético

- ▶ Matemáticamente, electricidad y magnetismo son simétricos.
- ▶ Un cambio en el campo magnético produce un campo eléctrico.
- ▶ Un cambio en el campo eléctrico debe producir un campo magnético.
- ▶ Postula la existencia de un **Campo Electromagnético**.



James Clerk Maxwell  
(1831–1879)

# Ondas Electromagnéticas: Confirmación



Henrich Hertz  
(1857–1894)

# Ondas Electromagnéticas: Confirmación

- ▶ Se producen oscilaciones en el transmisor.
- ▶ Estas oscilaciones generan ondas electromagnéticas.
- ▶ Las ondas llegan al receptor.
- ▶ Las ondas se propagan a la velocidad de la luz.

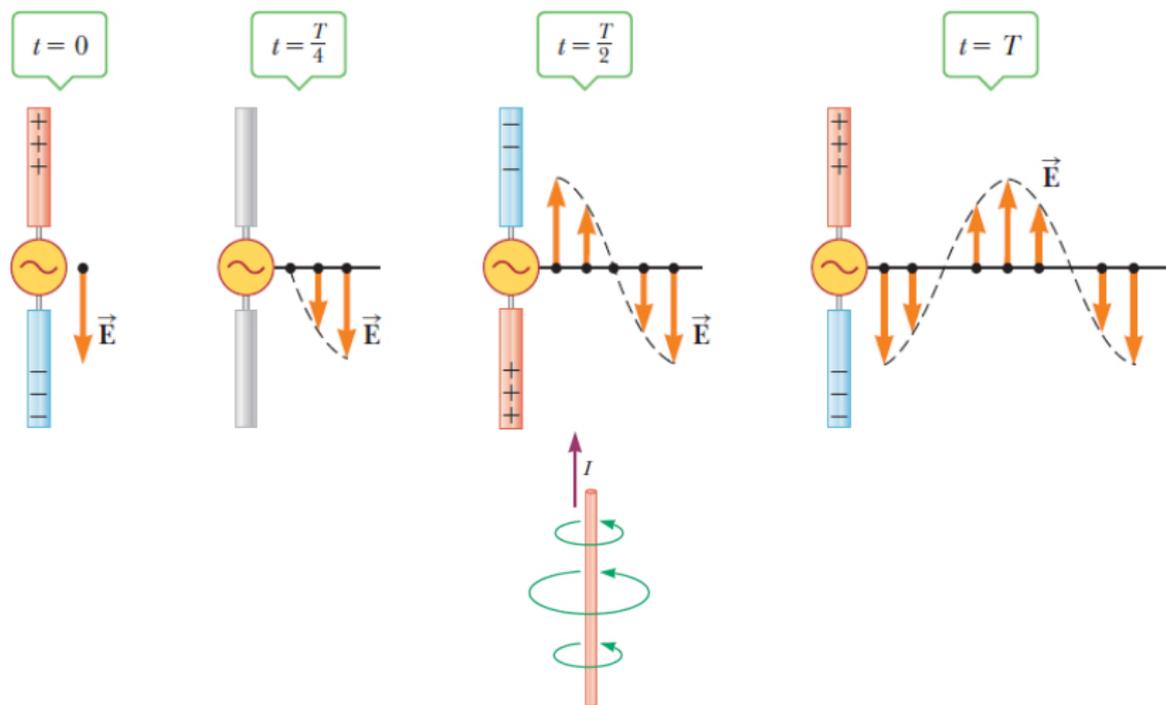


Heinrich Hertz  
(1857–1894)

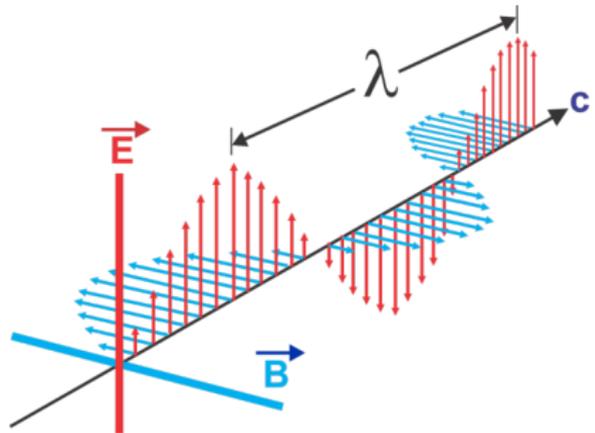
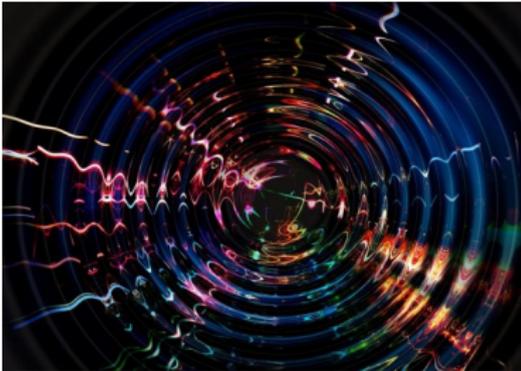


(Csenge Kindli, Univ. Berlin)

# Antena



# Ondas Electromagnético



# Ondas Electromagnéticas: Propiedades

- ▶ Ondas transversales:  $\vec{E} \perp \vec{B}$
- ▶ Se propagan perpendicularmente a  $\vec{E}$  y a  $\vec{B}$ .
- ▶  $\frac{E}{B} = c$ .
- ▶  $c = \sqrt{\frac{4\pi k_0}{\mu_0}} = 2.99792 \times 10^8 \text{ m/s}$ .
- ▶ Las ondas llevan energía y momento.

# ELECTROMAGNETIC RADIATION SPECTRUM

