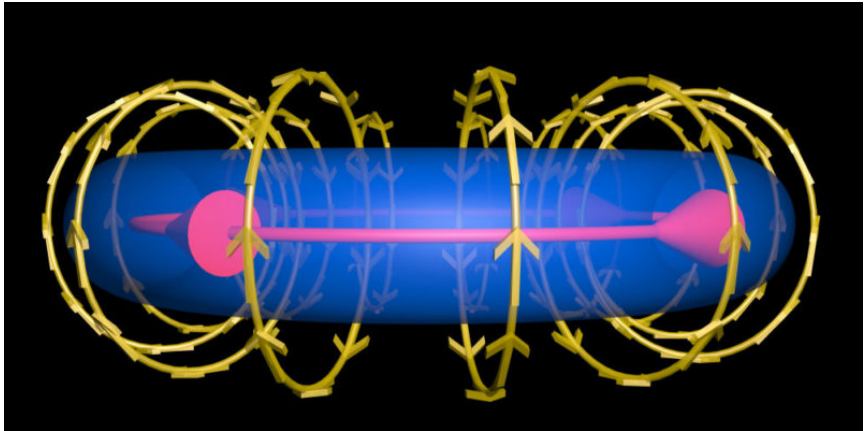
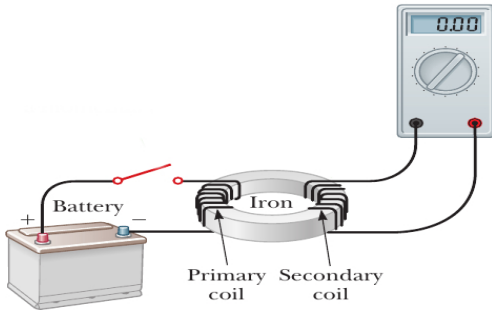


## 5. Electromagnetismo



# Inducción

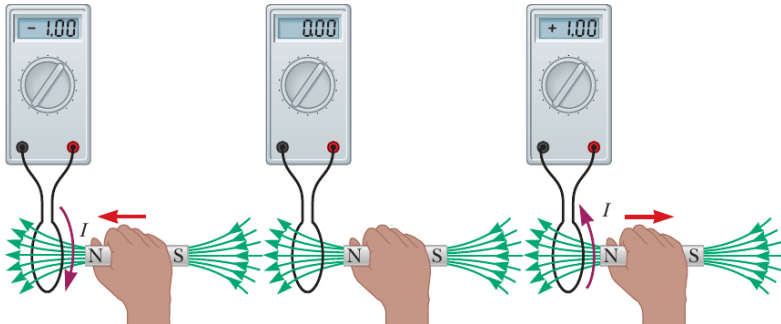


By kind permission of the President and Council of the Royal Society

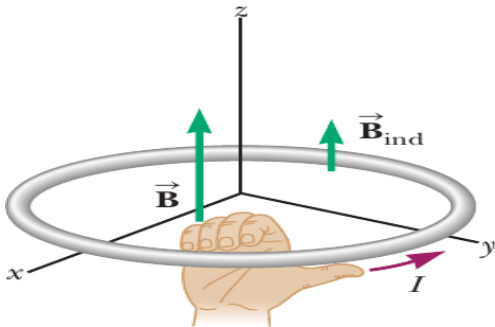
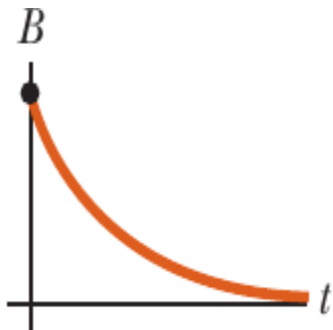


Michael Faraday  
(1797–1867)

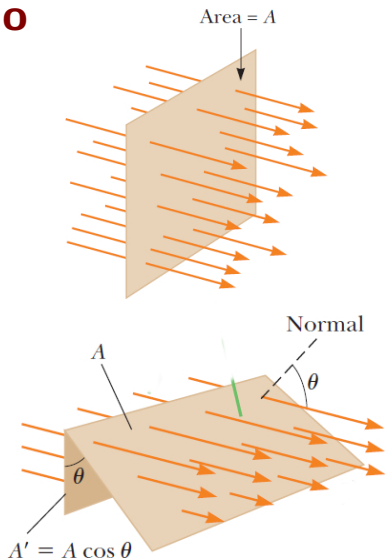
# Corriente Inducida



# Corriente Inducida

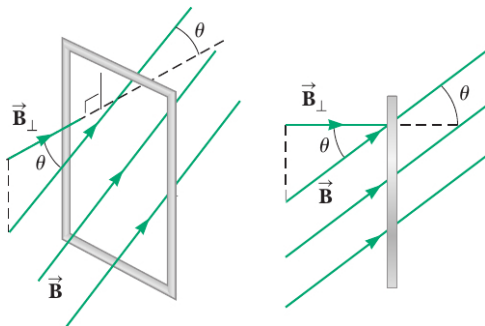


# Flujo



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?

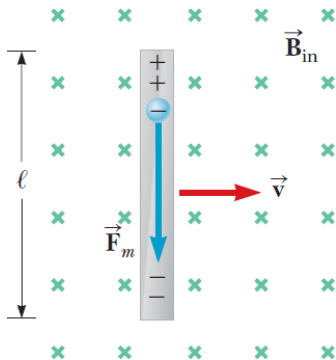
# Ley de Faraday–Lenz

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

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

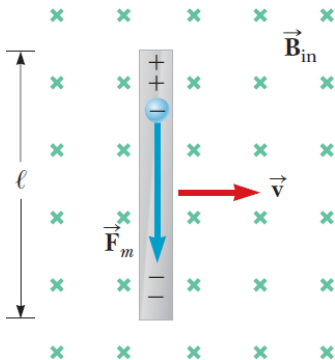


# Origen de la FEM Inducida



- ▶ 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:

$$E = vB.$$

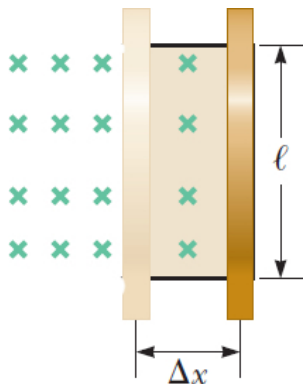
- ▶ La relación entre el campo eléctrico y la FEM es

$$\Delta V = El$$

- ▶ Reemplazando, se obtiene:

$$\Delta V = El = Blv$$

# Origen de la FEM Inducida



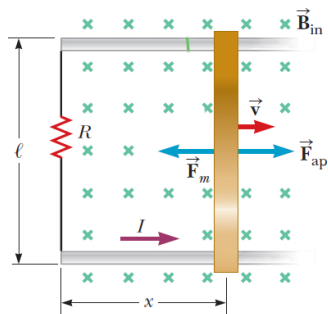
$$\Delta V = El = Blv$$

- ▶ 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  $\Delta \Phi = B \Delta A = Bl \Delta x$ .

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

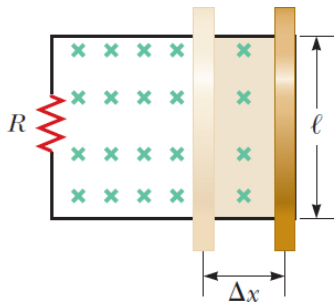
# Origen de la FEM Inducida: Espira cerrada

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**.

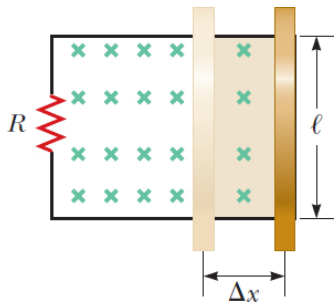
# Origen de la FEM Inducida: Espira cerrada



- ▶ 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  $\Delta \Phi = B \Delta A = B l \Delta x$ .

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

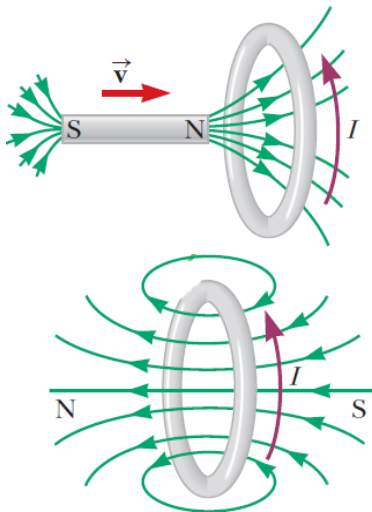
# Origen de la FEM Inducida: Espira cerrada



- Si la resistencia es  $R$ , entonces:

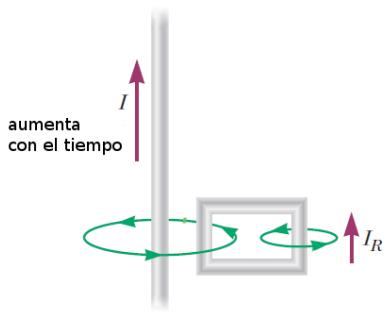
$$I = \frac{|\epsilon|}{R} = \frac{Blv}{R}$$

# 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  $\Phi$ .

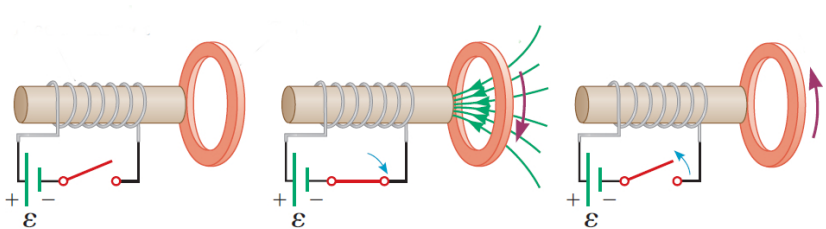
# Ejemplos



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.



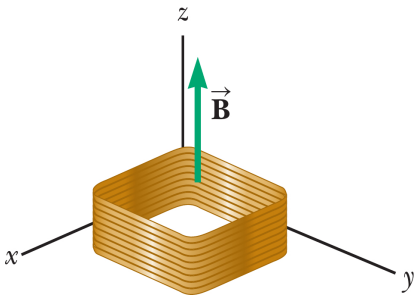
# Ejemplos



# Ley de Faraday–Lenz

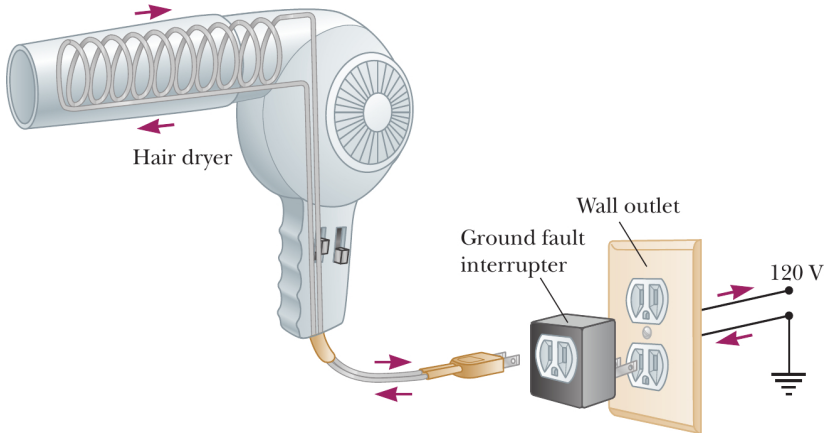
## Problema 0.2

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.

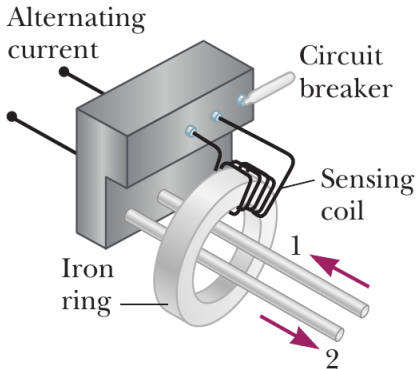


1. El campo magnético cambia uniformemente de  $B_i = 0.00$  T, a  $B = 0.500$  T en 0.800 segundos. Calcular la fem inducida en la bobina. ( $\epsilon = -5.06$  V).
2. Calcular la magnitud y la dirección de la corriente inducida durante este cambio. ( $I = 1.45 \times 10^{-2}$  A, mirado desde arriba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

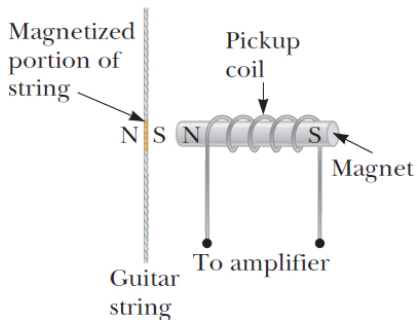
# Aplicaciones: Interruptor de falla a tierra



# Aplicaciones: Interruptor de falla a tierra



# Aplicaciones: Guitarra Eléctrica



© Charles D. Winters/Cengage Learning

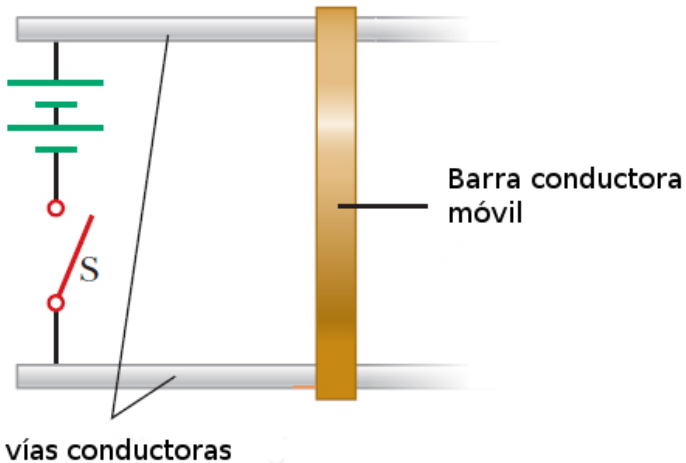


# Aplicaciones: Monitor de apnea

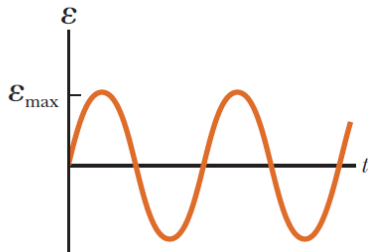
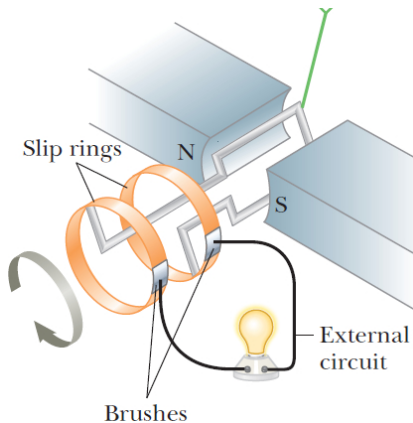
Courtesy of PedsLink Pediatric Healthcare Resources, Newport Beach, CA



# Aplicaciones: Catapulta

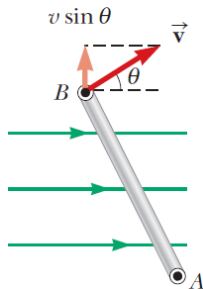
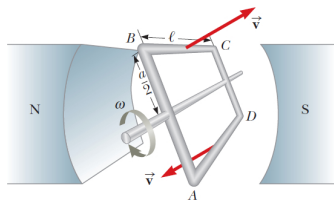


# Generador AC



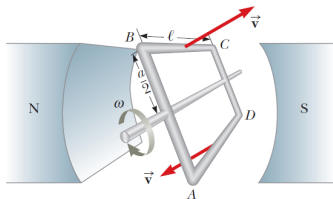


# Generador AC

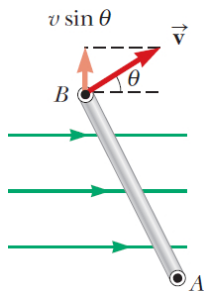


- ▶ La componente de  $\vec{v}$  perpendicular a  $B$  hace mover los electrones desde  $C$  hacia  $B$ , y desde  $A$  hacia  $D$ .
- ▶  $\epsilon = \epsilon_{CB} + \epsilon_{AD} = Blv_{\perp} + Blv_{\perp} = 2Blv_{\perp}$ .
- ▶  $\epsilon = 2Blv \sin(\theta)$ .
- ▶  $v = (a/2)\omega$  y  $\theta =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

# Generador AC

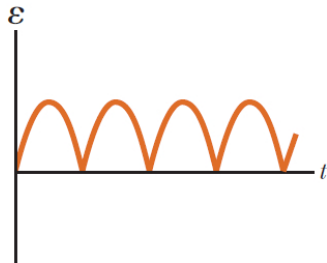
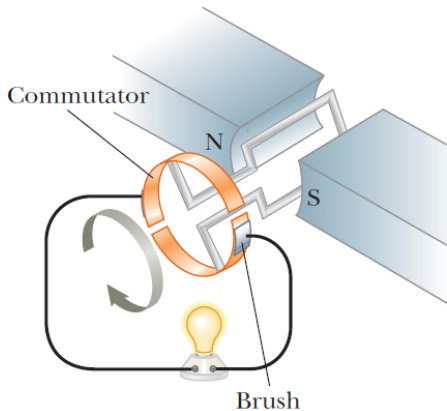


- ▶  $\epsilon = 2 B l \frac{a}{2} \omega \sin(\omega t) = B l a \omega \sin(\omega t) = B A \omega \sin(\omega t).$
- ▶  $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = B A \cos(\omega t).$
- ▶  $\frac{\Delta(A \cos(\omega t))}{\Delta t} = -\omega \sin(\omega t).$
- ▶  $\epsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$
- ▶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

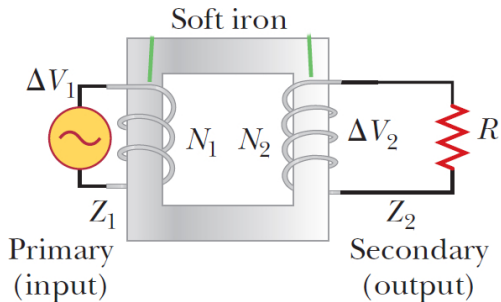


$$\epsilon_{max} = N B A \omega$$

# Generador DC



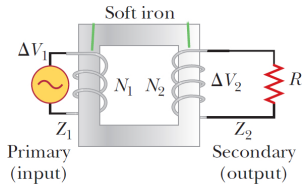
# Transformador



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

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

# Transformador

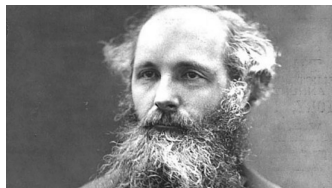


© George Sample/Cengage Learning

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

# Leyes de Maxwell

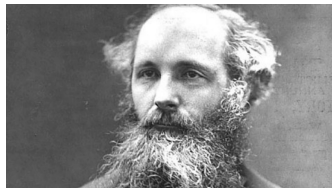
- ▶ Líneas de campo eléctrico se originan en cargas positivas y terminan en cargas negativas (Ley de Coulomb).
- ▶ Líneas de campo magnético siempre están en bucles cerrados (no empiezan ni terminan).
- ▶ Cargas en movimiento generan campos magnéticos (Ley de Ampere).
- ▶ Un campo magnético variable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



James Clerk Maxwell  
(1831–1879)

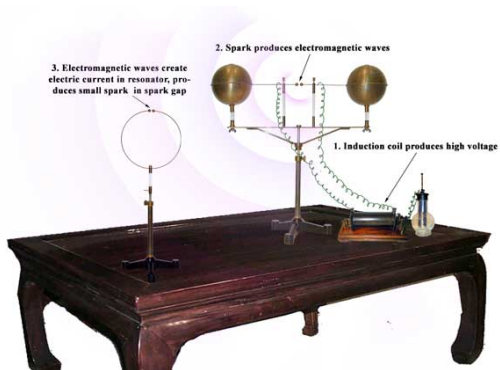
# Campo Electromagnético

- ▶ 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.



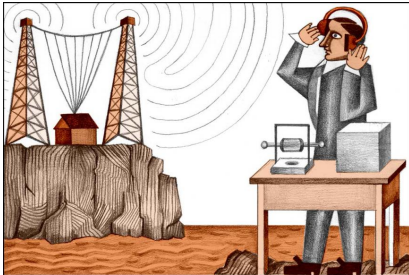
Heinrich Hertz  
(1857–1894)



... hätte er nie gedacht, dass man später ...



... metallische Objekte im Wasser ortet ...



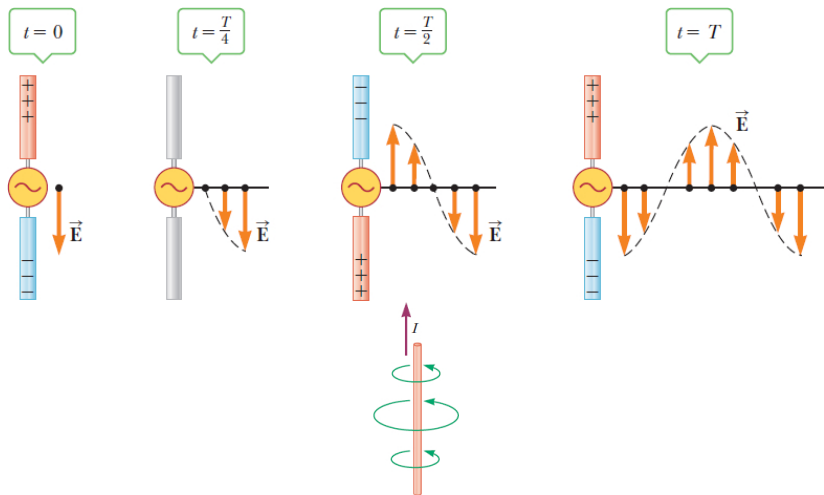
... durch diese Wellen Nachrichten über Ozeane schickt ...



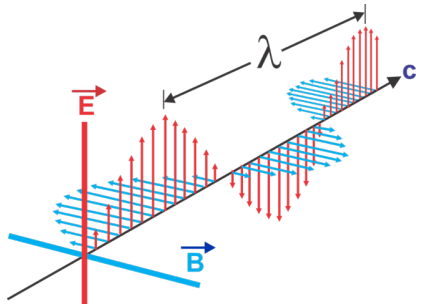
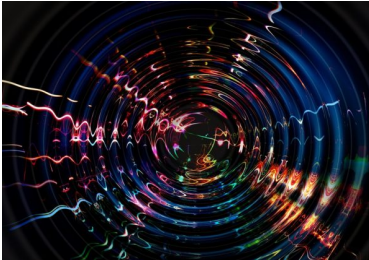
... den menschlichen Körper durchleuchtet ...

(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

