



La ley de inducción de Faraday

Los experimentos de Faraday



- La ley de inducción de Faraday se descubrió a partir de los experimentos de M. Faraday en 1831 (Inglaterra) y J. Henry (USA) en la misma época.

Los experimentos de Faraday

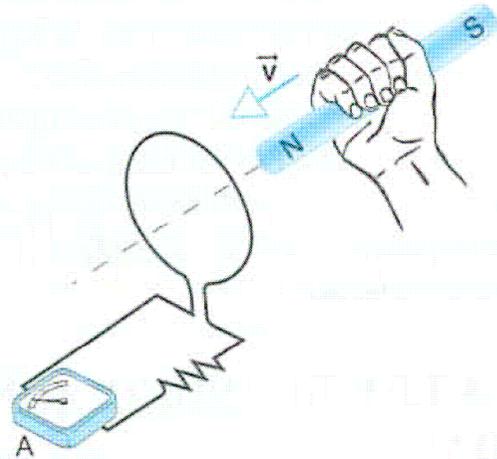


FIGURA 34-1. Cuando el imán se mueve respecto a la bobina la aguja del amperímetro A se desvía y con ello indica la presencia de una corriente en el circuito.

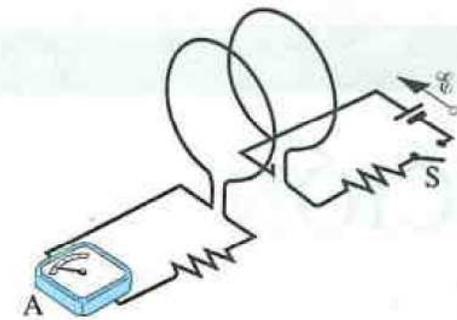


FIGURA 34-2. La aguja del amperímetro A se desvía momentáneamente cuando se abre o se cierra el circuito S. No existe movimiento físico de las bobinas.

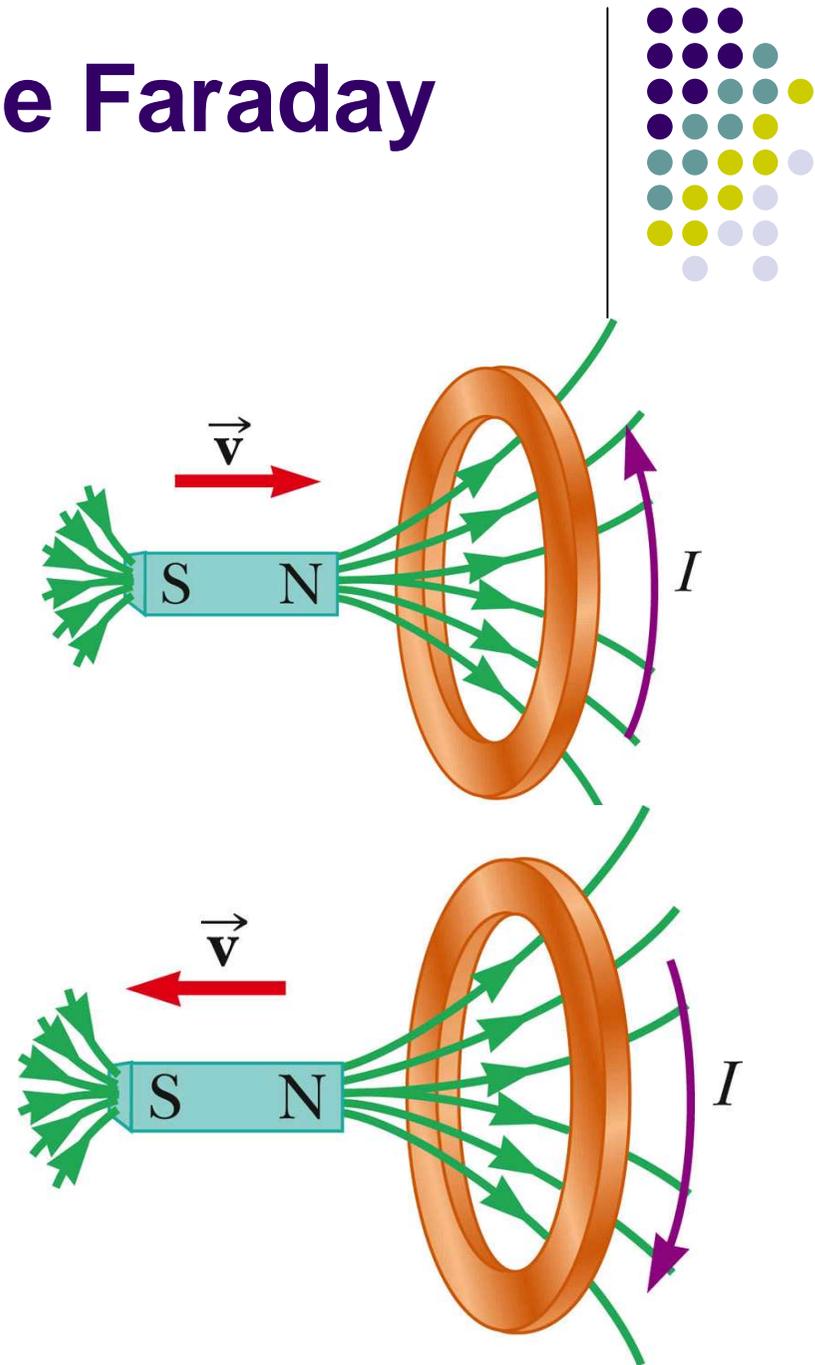


La ley de inducción de Faraday

La ley de inducción de Faraday

In any case, the induced emf follows the Faraday's Law of induction :

“the emf induced in a circuit is directly proportional to the time rate of change of the magnetic flux through the circuit $\frac{d\Phi_b}{dt}$ ”



La ley de inducción de Faraday



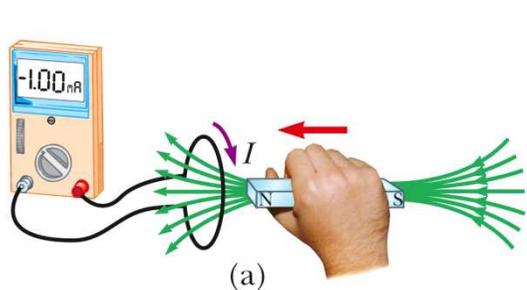
In the sliding bar “experiment”, we proved that:

$$emf = \frac{d\Phi_b}{dt}$$

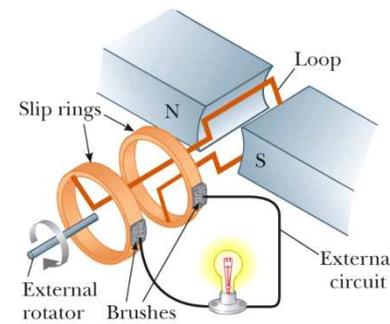
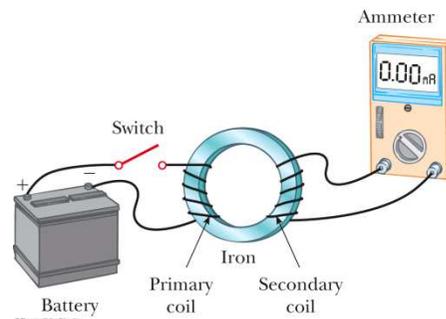
We also know that the magnetic flux is defined as

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \text{ or } \Phi_B = BA \cos \theta$$

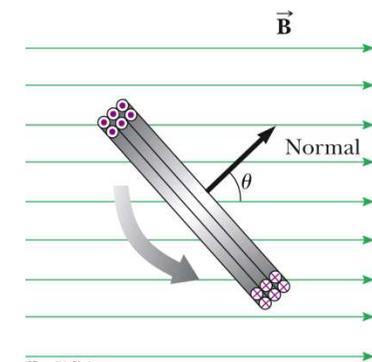
In the sliding bar experiment, we changed A by moving the bar. More practically people change B or the angle θ to achieve a changing flux.



Changing B



Changing θ





La ley de inducción de Faraday

La unidad del flujo magnético en el SI es:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \text{ or } \Phi_B = BA \cos \theta$$

1 weber = 1 Tesla . Metro²

En un circuito la magnitud de la fuerza electromotriz inducida es igual a la rapidez con que el flujo magnético a través de este circuito cambia con el tiempo.

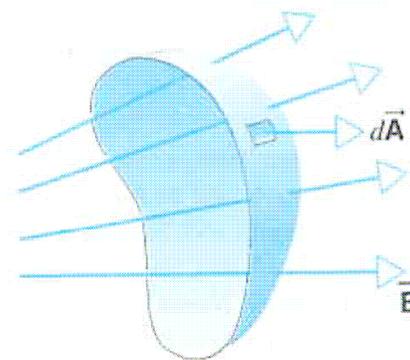


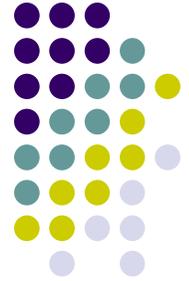
FIGURA 34-3. El campo magnético \vec{B} en una superficie A produce un flujo magnético en ella. El elemento de la superficie $d\vec{A}$ está representado por un vector.

La ley de inducción de Faraday



$$|\mathcal{E}| = \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right|$$

$$|\mathcal{E}| = N \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right|$$



Ley de Lenz

- **Lenz's law:**

*“The induced current in a loop is in the direction that creates a magnetic field that **opposes the change** in magnetic flux through the area enclosed by the loop.*

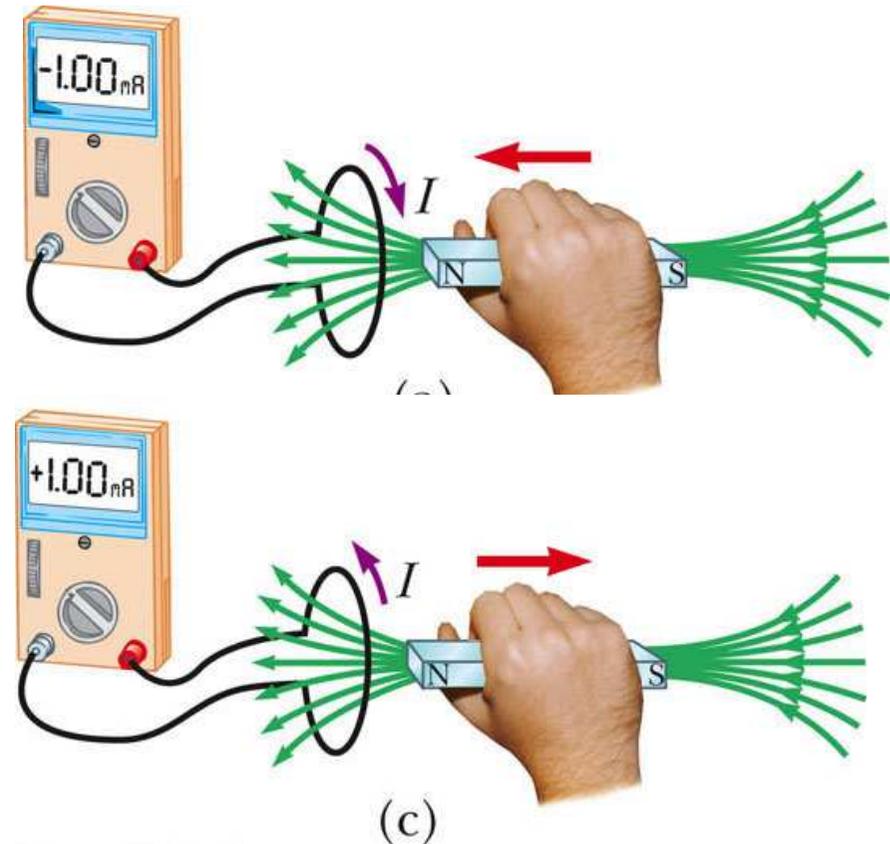
i.e. the induced current tends to keep the original magnetic flux through the circuit from changing.

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Lenz's Law

Ley de Lenz

- A loop of wire is connected to a sensitive ammeter
- Determine the current in the loop when the magnet is being
 - Moved into the loop
 - Moved out of the loop
 - Held still inside the loop



Ley de Lenz

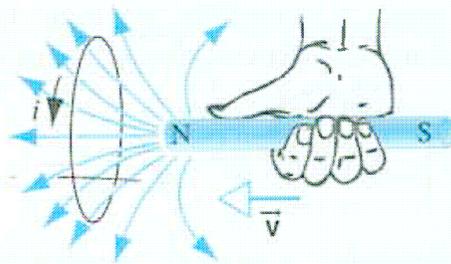


FIGURA 34-5. Cuando se empuja el imán hacia la espira, crece el flujo magnético que pasa por ella. La corriente inducida en la espira crea un campo magnético que se opone al incremento del flujo. No se muestra el campo de la espira de corriente.

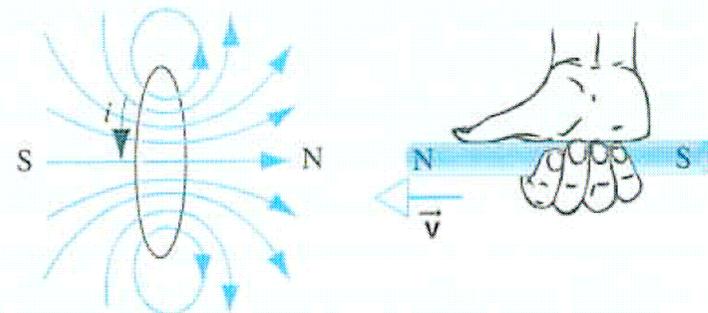
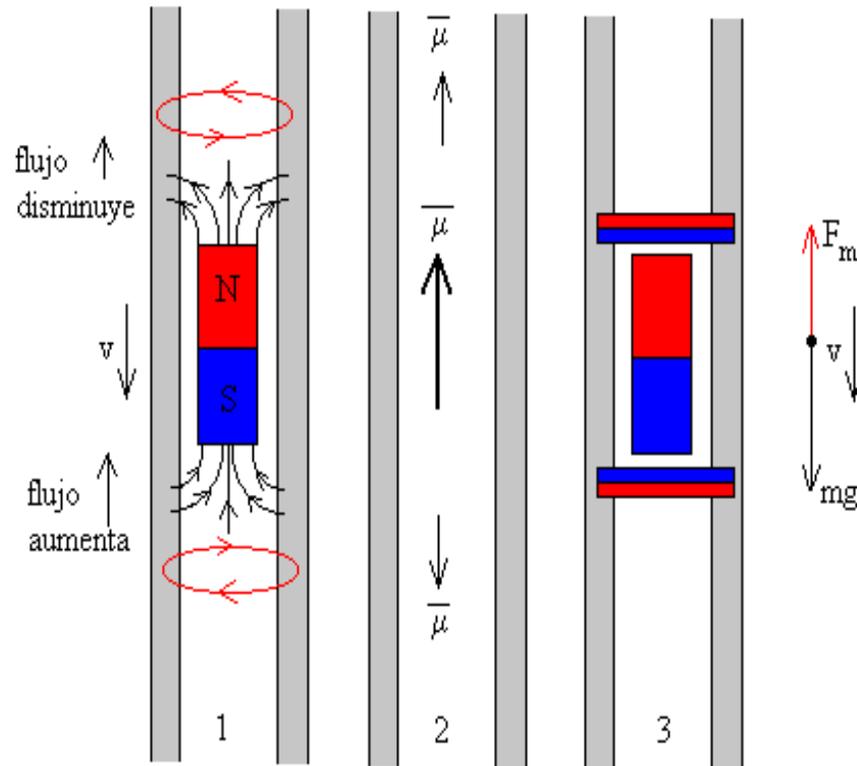
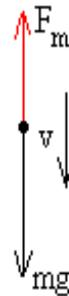


FIGURA 34-6. Cuando se empuja el imán hacia la espira, la corriente inducida i sigue la dirección señalada, produciendo un campo magnético que se opone al movimiento del imán. No se muestra aquí el campo de él, pero es el mismo que el de la figura 34-5.

LEY DE LENZ



- ◆ La ley de lenz dice que el sentido de la corriente inducida seria tal que el flujo de la corriente se opone a la causa que lo produce.



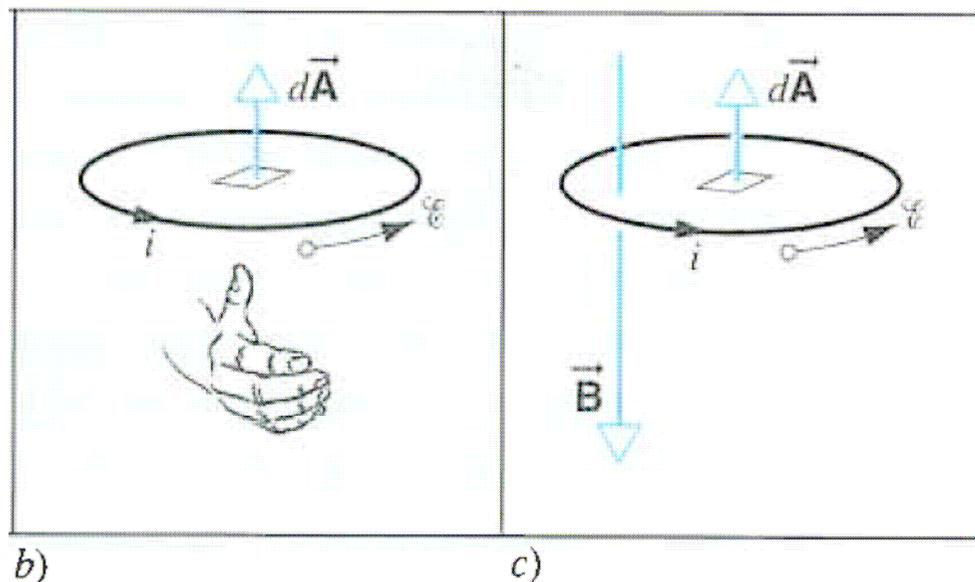


FIGURA 34-7. *a)* Adición de las fuerzas electromotrices en una espira de circuito para determinar la dirección de la corriente. *b)* Regla de la mano derecha aplicada a la ley de Faraday: con los dedos en dirección de i , el pulgar tiene la dirección de $d\vec{A}$. *c)* La corriente es la que se muestra aquí cuando \vec{B} se dirige hacia abajo y su magnitud crece.

Fuerza electromotriz de movimiento

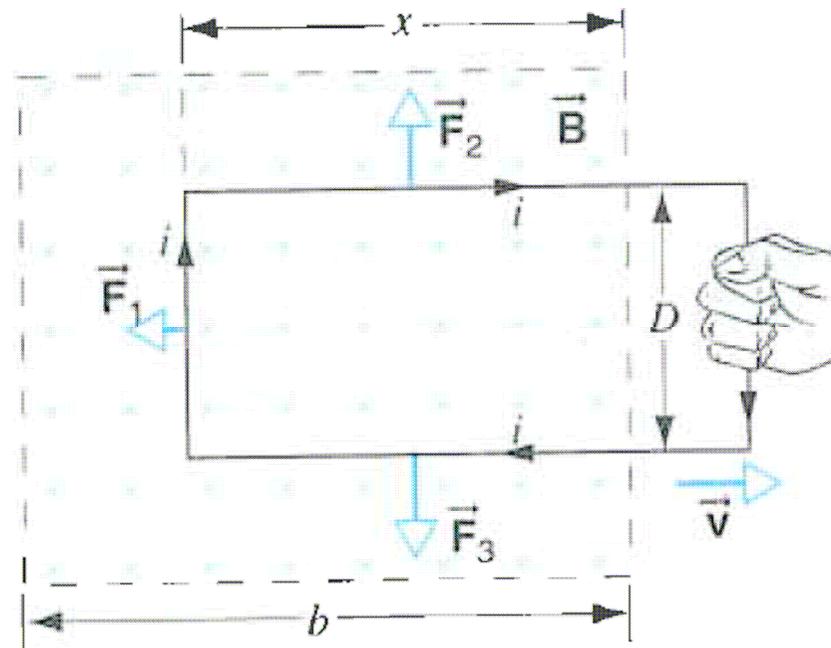


FIGURA 34-9. Cuando se retira del campo una espira conductora cerrada, en ella se produce una corriente inducida i .

EJEMPLOS

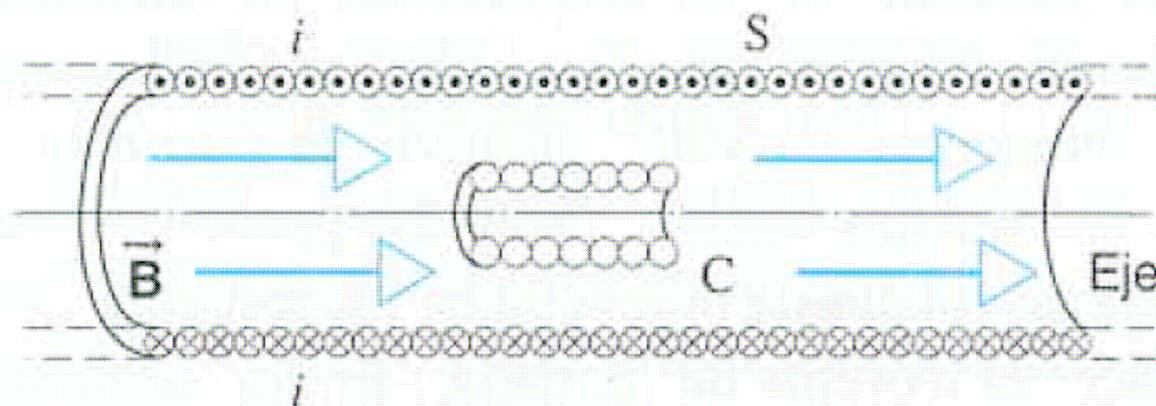


FIGURA 34-4. Problema resuelto 34-1. Una bobina C está situada dentro de un solenoide S. Éste lleva una corriente que sale de la página en la parte superior y que entra después en el fondo, como lo indican los puntos y las cruces. Cuando la corriente está cambiando, una fuerza electromotriz inducida aparece en la bobina.

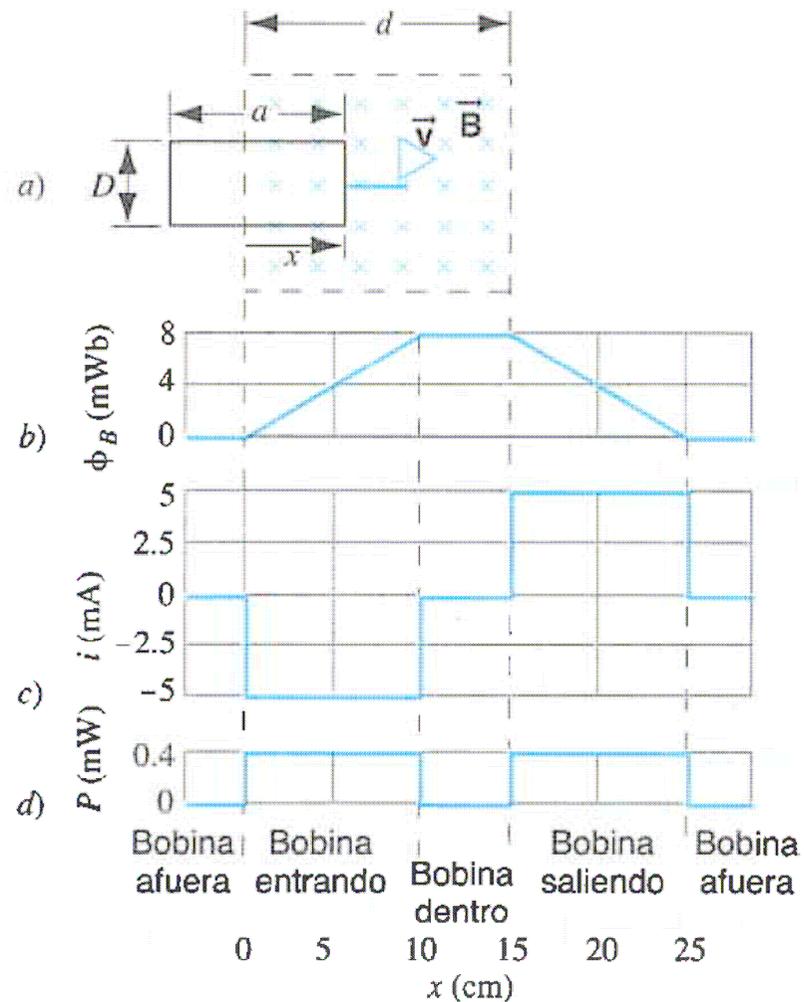


FIGURA 34-11. Problema resuelto 34-3. *a)* Con velocidad constante, se tira completamente de una espira conductora cerrada, en una región donde hay un campo magnético uniforme \vec{B} . *b)* El flujo magnético que la cruza en función de la coordenada x del lado derecho de la espira. *c)* La corriente inducida en función de x . Los valores negativos indican una corriente en dirección contraria a la de las manecillas del reloj. *d)* La rapidez con que la energía interna aparece en la espira al moverse ésta.



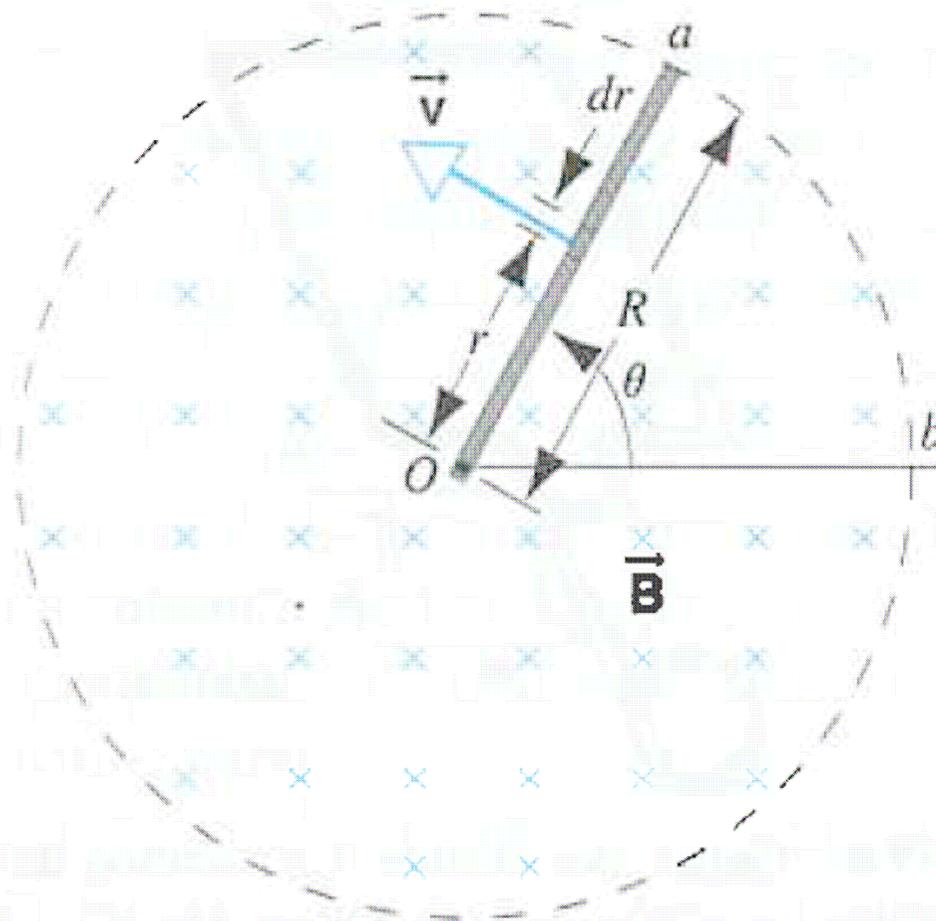
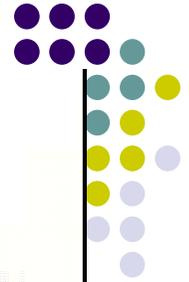


FIGURA 34-12. Problema resuelto 34-4. Una varilla de cobre gira en un campo magnético uniforme.

Rotating Loop

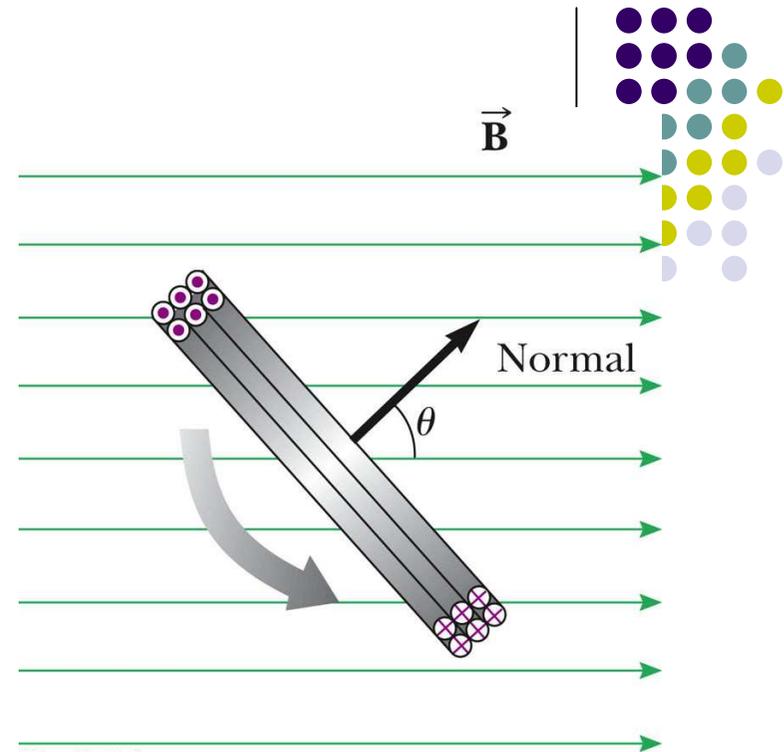
- Assume a loop with N turns, all of the same area rotating in a magnetic field
- The flux through the loop at any time t is

$$\begin{aligned}\Phi_B &= BA \cos \theta \\ &= BA \cos \omega t\end{aligned}$$

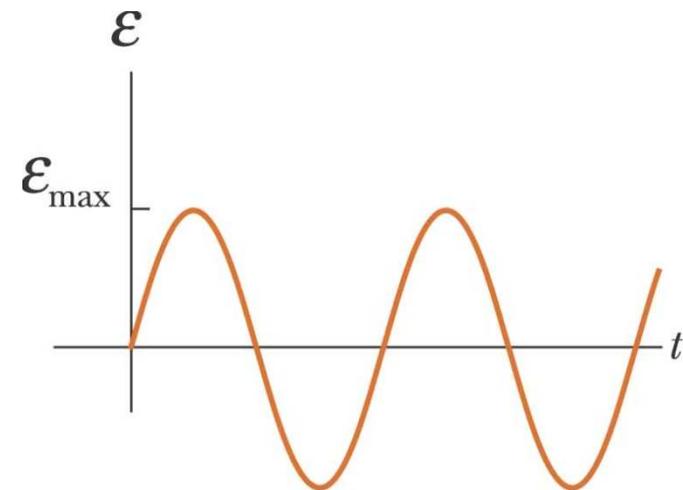
So

$$emf = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = NBA\omega \sin \omega t$$

The *emf* is a sin wave: AC.

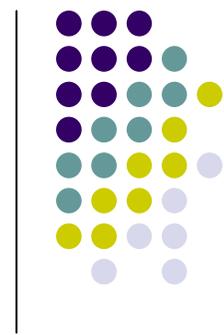
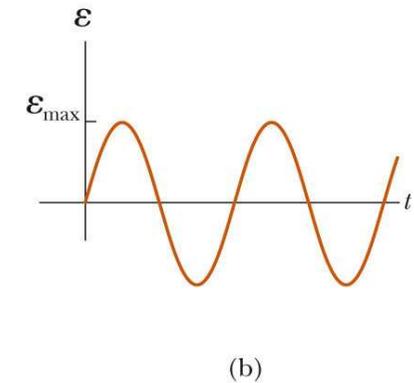
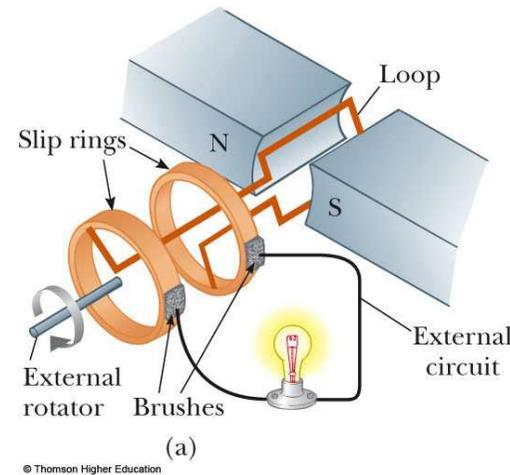


© Thomson Higher Education



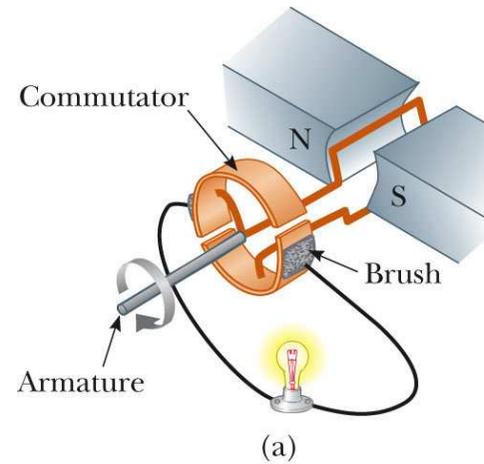
Generators

- Electric generators take in energy by work and transfer it out by electrical transmission
- The AC generator consists of a loop of wire rotated by some external means in a magnetic field

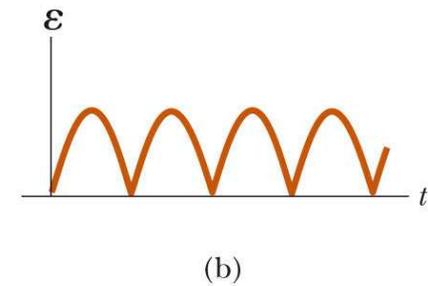


DC Generators

- The DC (direct current) generator has essentially the same components as the AC generator
- The main difference is that the contacts to the rotating loop are made using a split ring called a *commutator*



© Thomson Higher Education



Motors



- Motors are devices into which energy is transferred by electrical transmission while energy is transferred out by work
- A motor is a generator operating in reverse
- A current is supplied to the coil by a battery and the torque acting on the current-carrying coil causes it to rotate



Motors, cont.

- Useful mechanical work can be done by attaching the rotating coil to some external device
- However, as the coil rotates in a magnetic field, an emf is induced
 - This induced emf always acts to reduce the current in the coil
 - The back emf increases in magnitude as the rotational speed of the coil increases



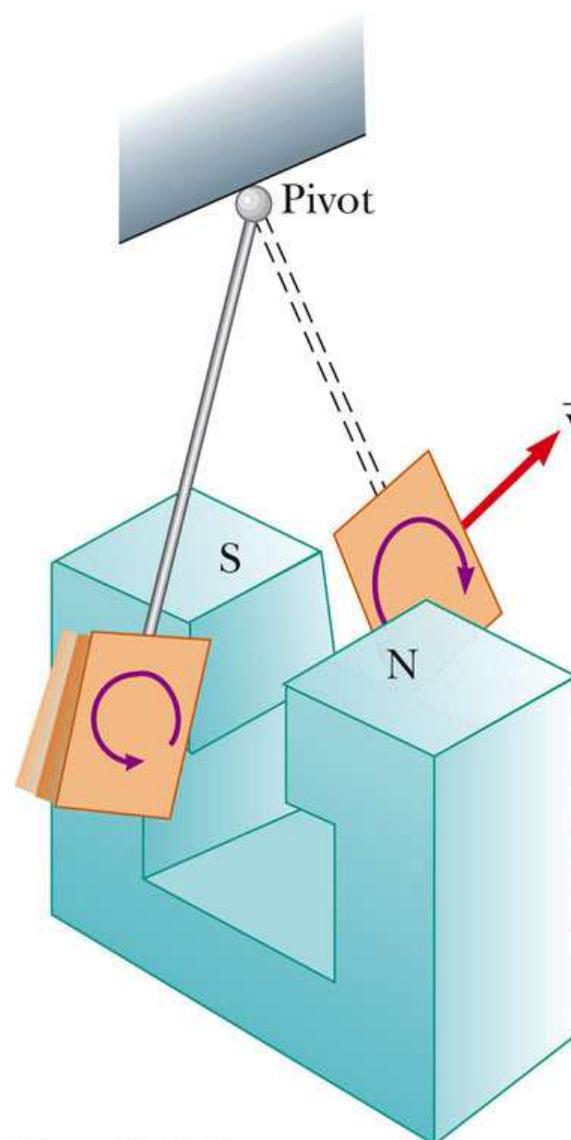
Motors, final

- The current in the rotating coil is limited by the back emf
 - The term *back emf* is commonly used to indicate an emf that tends to reduce the supplied current
- The induced emf explains why the power requirements for starting a motor and for running it are greater for heavy loads than for light ones



Eddy Currents

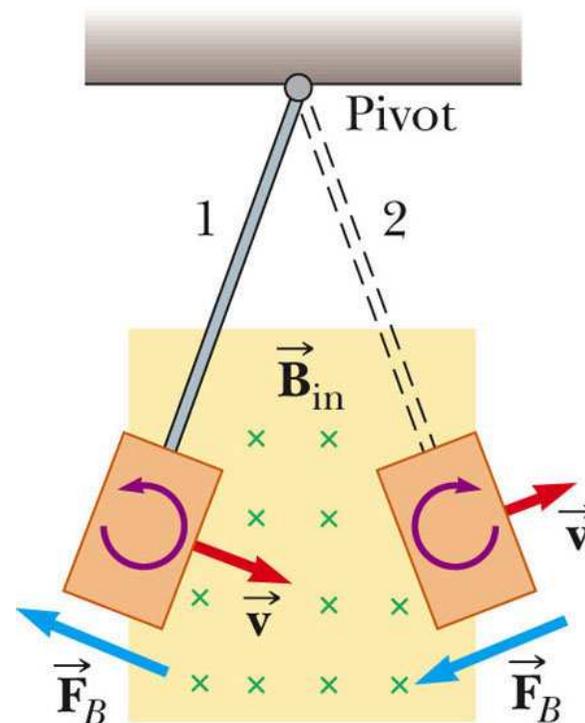
- Circulating currents called **eddy currents** are induced in bulk pieces of metal moving through a magnetic field
- The eddy currents are in opposite directions as the plate enters or leaves the field
- Eddy currents are often undesirable because they represent a transformation of mechanical energy into internal energy





Eddy Currents, Example

- The magnetic field is directed into the page
- The induced eddy current is counterclockwise as the plate enters the field
- It is opposite when the plate leaves the field
- The induced eddy currents produce a magnetic retarding force and the swinging plate eventually comes to rest



(a)



Eddy Currents, Final

- To reduce energy losses by the eddy currents, the conducting parts can
 - Be built up in thin layers separated by a nonconducting material
 - Have slots cut in the conducting plate
- Both prevent large current loops and increase the efficiency of the device



(b)

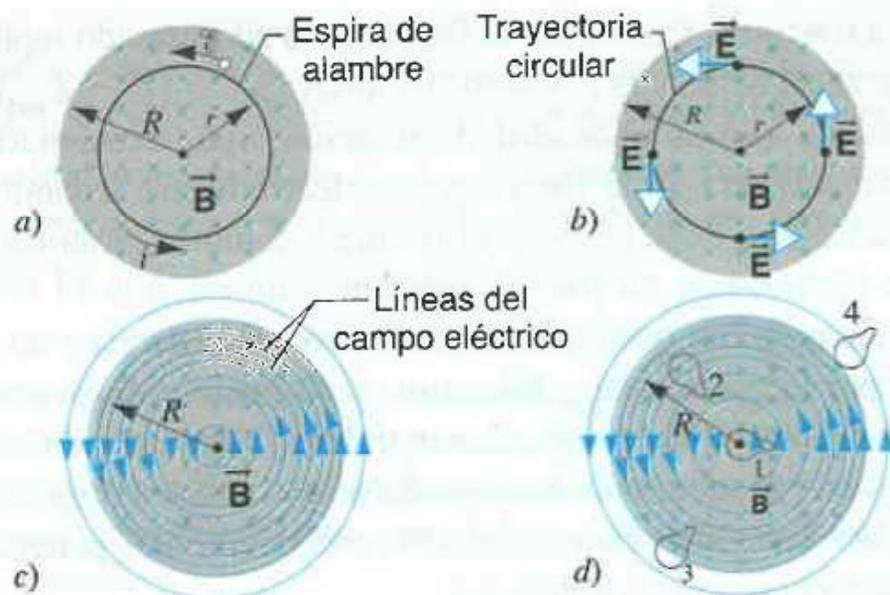


FIGURA 34-15. *a)* Si el campo magnético (que apunta al interior de la página) aumenta con velocidad uniforme, en la espira de alambre de radio r aparece una corriente constante como se indica en la figura. *b)* Existen en la región campos eléctricos inducidos, aun cuando se elimine el anillo. *c)* Representación completa de los campos eléctricos inducidos, mostrados como líneas del campo. *d)* Cuatro trayectorias cerradas similares alrededor de las cuales puede calcularse una fuerza electromotriz.

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

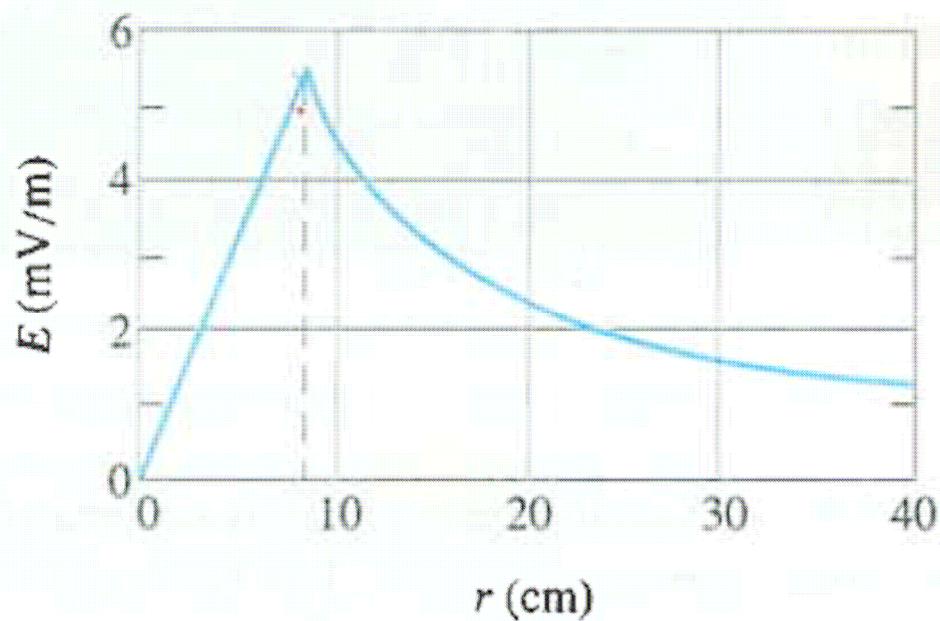


FIGURA 34-17. El campo eléctrico inducido que se encontró en el problema resuelto 34-6.