Corriente Eléctrica y Resistencia

Presentación basada en el material contenido en:
R. Serway,; Physics for Scientists and Engineers,
Saunders College Publishers, 3rd edition.

Introducción

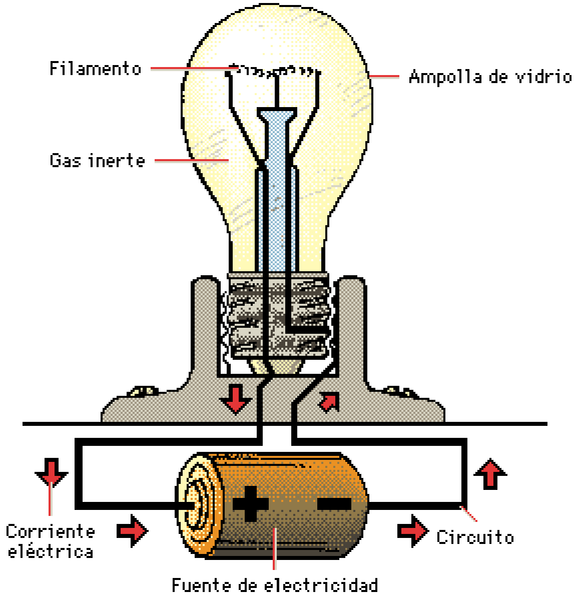
- Hasta ahora, nuestro estudio de los fenómenos eléctricos se ha restringido al estudio de la cargas en situaciones de equilibrio, es decir, de la *electrostática*.

- En adelante, se estudiarán la situaciones en las cuales las cargas eléctrica *no* estén equilibrio.

- Se utiliza el término *corriente eléctrica*, o simplemente *corriente*, para describir la velocidad del flujo de carga a través de alguna región del espacio.

Introducción

- La mayor parte de las aplicaciones prácticas de la electricidad implican corrientes eléctricas:
  - cuando se enciende una luz, se conecta el filamento metálico del foco o bombilla a una batería, estableciéndose una diferencia de potencial, lo cual hace fluir la carga eléctrica (*i.e.* se establece un corriente) a través del filamento;
  - la mayor parte de los electrodomésticos operan con un corriente alterna, e implican que la corriente existe en un conductor, tal y como un cable de cobre.



Introducción

- Usualmente asociamos las corrientes al movimiento de cargas en cables conductores.

- Sin embargo, la corriente eléctrica puede existir fuera de un conductor; es decir, la corriente eléctrica surge de cualquier flujo de carga.

  - Un ejemplo de corriente no asociada a un cable conductor es el haz de electrones en un tubo de rayos catódicos (televisores, monitores,…)

Corriente eléctrica

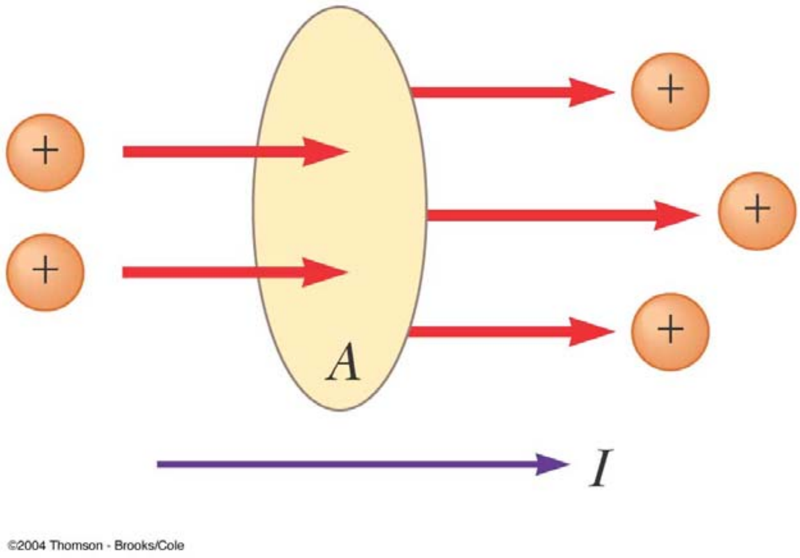
- Siempre que haya un flujo neto de carga a través de alguna región (por ejemplo, un pedazo de material), se dice que existe una **corriente eléctrica**.

- La cantidad de flujo depende del material a través del cual las cargas fluyen y la diferencia de potencial a través del material.

Corriente eléctrica

- Para definir la corriente eléctrica con mayor precisión, supongan que las cargas se mueven perpendicularmente respecto una superficie de área *A* (por ejemplo, esta área puede ser la sección transversal de un alambre conductor)

- **La corriente se define como la velocidad a la cual la carga fluye a través de una superficie de área *A*.**



Corriente eléctrica

- Si ΔQ es la cantidad de carga que pasa a través de dicha área A en un intervalo de tiempo Δt, la **corriente promedio** I_{av} es igual a la carga que pasa a través de A por unidad de tiempo:

$$I_{\mathrm{av}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

- Si la velocidad a la cual la carga fluye varía con el tiempo, entonces la corriente varía con el tiempo; la **corriente instantánea** I se define como el límite diferencial de la corriente promedio

$$I \equiv \frac{dQ}{dt}$$

Corriente eléctrica

- La unidad SI de la corriente eléctrica es el **ampere** (A):

$$1\ \text{A} \equiv 1\,\frac{\text{C}}{\text{s}}$$

- Es decir, 1 A de corriente es equivalente a 1 C de carga que pasa a través de una superficie de área *A* en 1 s.

- Las cargas que pasan a través de la superficie pueden ser positivas o negativas, o ambas. **Es una convención el asignar a la corriente la misma dirección que el flujo de carga positiva cuando es libre de moverse.**

Corriente eléctrica

- Sin embargo, en los conductores eléctricos (*v. gr.* Cu o Al) la corriente eléctrica se debe al movimiento de electrones cargados negativamente.

- En ese caso, cuando se refiere a la corriente en un conductor ordinario, **la dirección de la corriente es en dirección opuesta a la del flujo de electrones**.

- En algunos casos –tales como los que involucran gases y electrolitos– la corriente es el resultado del flujo tanto de cargas positivas como de cargas negativas.

Corriente eléctrica

- La convención de tomar como sentido de la corriente el del flujo de cargas positivas se estableció antes de que se conociera que los electrones libres, negativamente cargados, son las partículas que realmente se mueven y producen la corriente en un alambre conductor.
- Pero como en casi todas las aplicaciones, el movimiento de cargas negativas hacia un lado es indistinguible del movimiento de cargas positiva hacia el otro, se puede establecer que la corriente eléctrica es el movimiento de cargas positivas en el sentido de la corriente y recordar (si es necesario) que en los conductores los electrones se mueven en sentido opuesto al de la corriente.
- Ejemplo: en la electrólisis, la corriente eléctrica está producida por el movimiento de iones positivos en el sentido de la corriente, más el flujo de iones negativos en sentido contrario. Puesto que estas partículas se mueven en sentidos opuesto, ambas producen corriente en el mismo sentido.

Corriente eléctrica

- Por ejemplo, si los extremos de un alambre conductor se conectan entre sí para formar un bucle o circuito cerrado, todos los puntos en el circuito están a al mismo potencial eléctrico, y por lo tanto, la diferencia de potencial ΔV es cero.

- Si $\Delta V = 0$, entonces, por definición, el campo eléctrico **E** dentro y sobre la superficie del conductor es cero:

$$\Delta V = -\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{l}$$

para que esto sea igual a cero, **E** tiene que ser igual a cero, pues el desplazamiento ***dl*** no puede ser igual a cero (si no hay desplazamiento ni siquiera se puede definir ΔV)

Corriente eléctrica

- Si el campo eléctrico es cero ($\mathbf{E} = 0$), entonces no hay un transporte neto de carga a través del cable y, por lo tanto, no hay corriente eléctrica ($I = 0$).

- Sin embargo, si los extremos del cable conductor se conectan a una batería, todos los puntos en el circuito no están al mismo potencial eléctrico ($\Delta V \neq 0$).

- La batería establece una diferencia de potencial entre los extremos del circuito, creando un campo eléctrico dentro del cable (si $\Delta V \neq 0$, entonces $\mathbf{E} \neq 0$).

Corriente eléctrica

- El campo eléctrico **E** ($\neq 0$) dentro del alambre conductor ejerce fuerzas sobre los electrones conductores ("libres") presentes en dicho alambre.

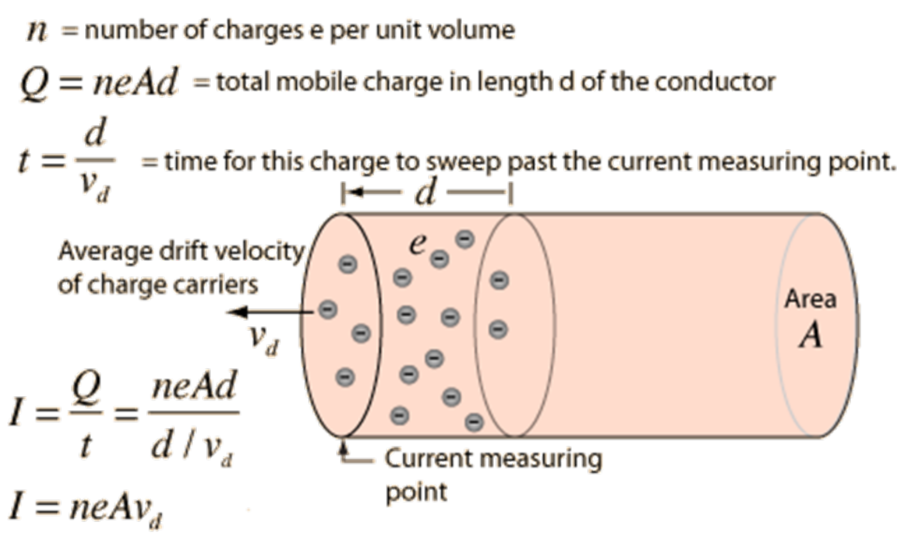
- Estas fuerzas provocan que los electrones se muevan en el alambre, produciéndose una corriente eléctrica.

- Es común el referirse a una carga en movimiento (positiva o negativa) como un **portador de carga** móvil.

  - Por ejemplo, los portadores de carga en un metal conductor son los electrones.

Aclaraciones importantes

- La frase *flujo de corriente* se usa comúnmente, aunque es estrictamente incorrecta, pues la corriente *es* un flujo (de carga). Esto es similar a la frase *transferencia de calor*, que también es redundante pues el calor *es* un transferencia (de energía).

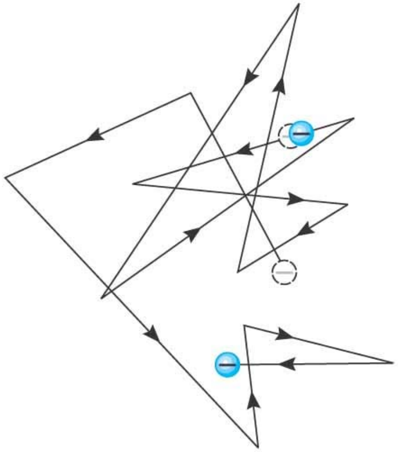


Modelo microscópico

- El movimiento real de los electrones libres en un alambre conductor es muy complicado

- Si en el alambre no existe campo eléctrico, estos electrones se mueven con direcciones aleatorias y velocidades relativamente grandes debido a su energía térmica.

- Como los vectores velocidad de los electrones están orientados al azar, la velocidad promedio o media debida a esta energía térmica es cero.



(a)

Modelo microscópico

- Cuando se aplica un campo eléctrico (*v. gr.* conectando el alambre a una batería que origina una diferencia de potencial a lo largo del alambre) los electrones libres experimental una aceleración instantánea debida a la fuerza eléctrica $F = -e\mathbf{E}$,

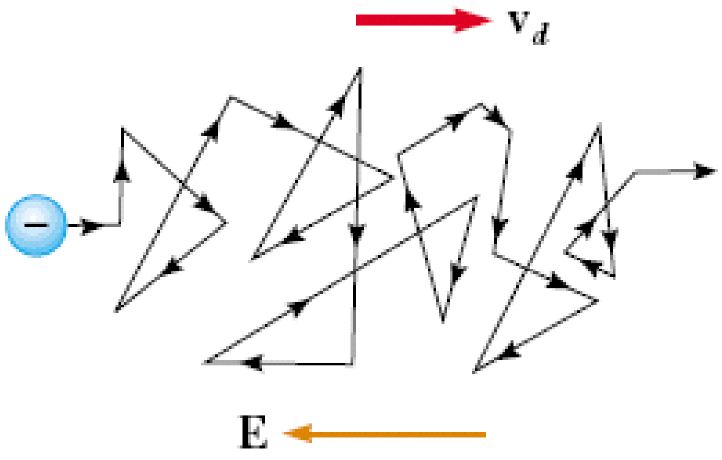
- Los electrones adquieren una pequeña velocidad en dirección opuesta al campo, pero la energía cinética que adquieren es disipada rápidamente por choques con los iones fijos del alambre.

- Inmediatamente después, los electrones son de nuevo acelerados por el campo eléctrico.

Modelo microscópico

- El resultado neto de esta continua aceleración y disipación de energía es que los electrones poseen una pequeña **velocidad de desplazamiento** (del inglés *drift speed*) opuesta al campo eléctrico y que se superpone (suma vectorial) a su velocidad grande, pero aleatoria, y de origen térmico.

- Es decir, los electrones no se mueven en líneas rectas, sino que colisionan repetidamente con los átomos metálicos, y su movimiento resultante es en zigzag.



Modelo microscópico

- Cuando no hay corriente en un conductor, los electrones se mueven en direcciones aleatorias con velocidades muy grandes a causa de la energía térmica.

- Cuando hay corriente, los electrones poseen una pequeña velocidad de desplazamiento superpuesta a las velocidades térmicas, mucho mayores, pero aleatorias.

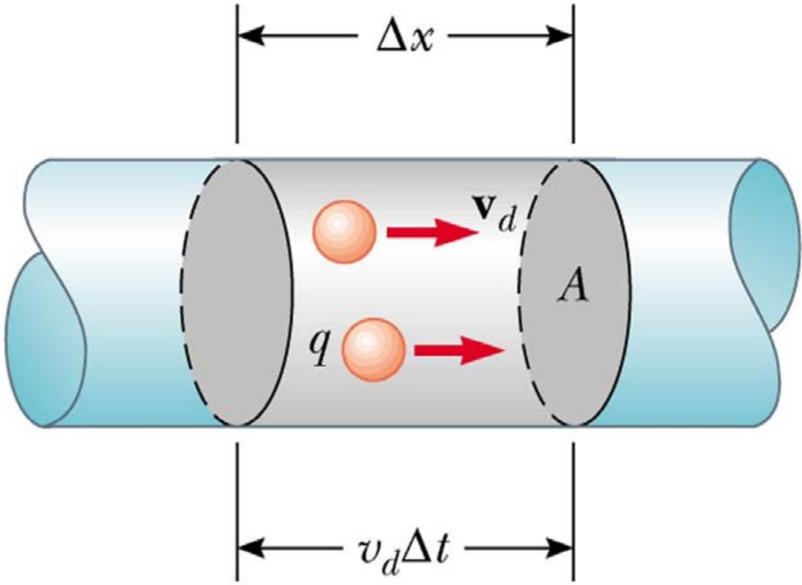
Modelo microscópico

- Se puede relacionar la corriente eléctrica con el movimiento de portadores de carga mediante un modelo microscópico de conducción en un metal.

- Consideren la corriente eléctrica en un conductor de área transversal *A* (ver figura).

- El volumen de una sección del conductor de longitud Δx es:

$$V = A\Delta x$$



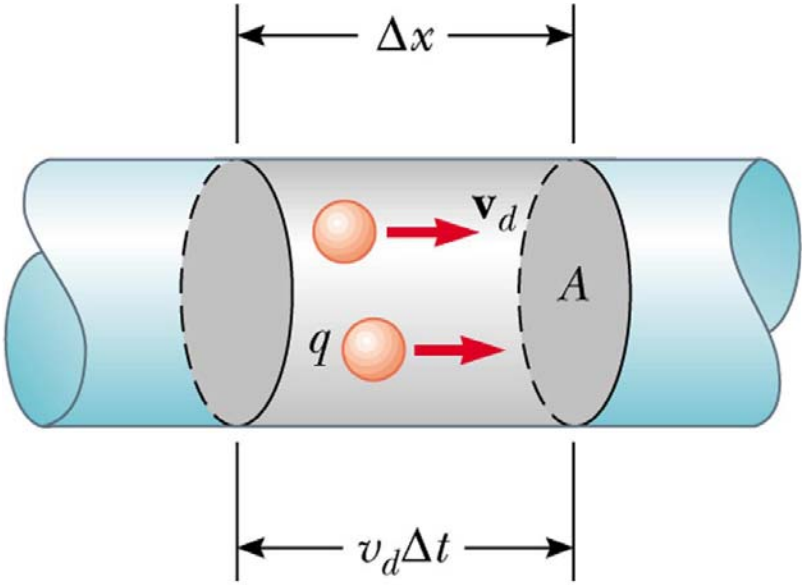
Modelo microscópico

- Si n representa el número de portadores de carga por unidad de volumen (es decir, la *densidad de portadores de carga*):

$$n = \frac{\#\ \text{portadores de carga}}{V}$$

- entonces, en esta sección:

$$\#\ \text{p.c.} = nV = nA\Delta x$$



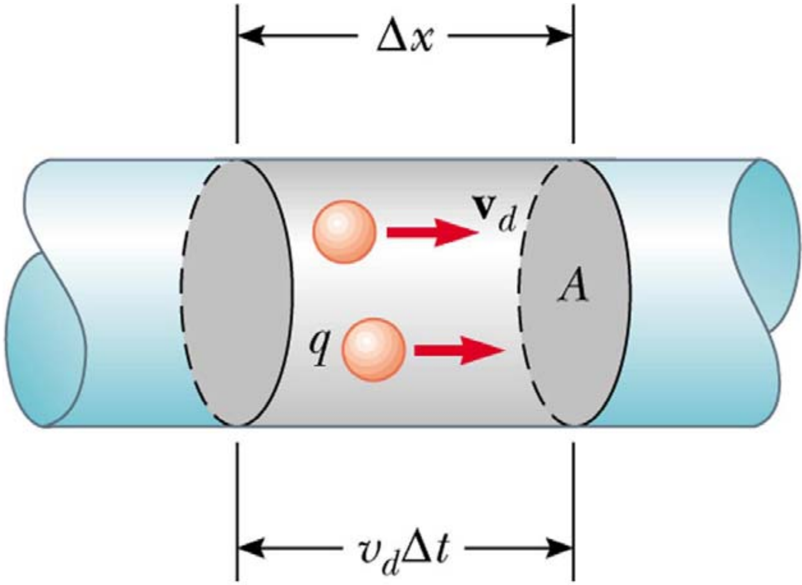
Modelo microscópico

- Por lo tanto, la carga total en esta sección es:

$$\Delta Q = \#\,\text{p.c.} \;\times \text{carga de cada portador}$$

$$\Delta Q = nVq = (nA\Delta x)q$$

- donde *q* es la carga de cada portador

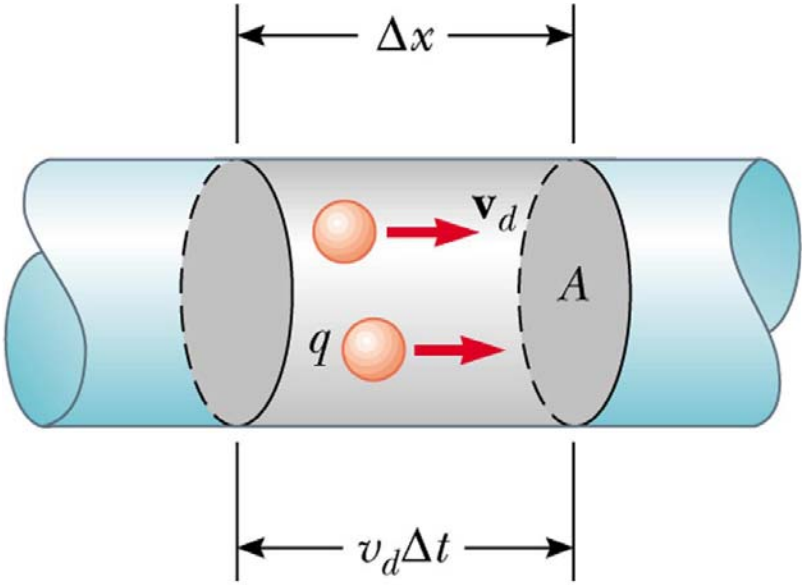


Modelo microscópico

- Si los portadores de carga se mueven con una velocidad v_d, el desplazamiento que experimentan en la dirección x en un intervalo de tiempo Δt es:

$$\Delta x = v_d \Delta t$$

- Donde Δt se establece como el intervalo de tiempo requerido para que las cargas dentro del cilindro se desplacen una magnitud igual a la longitud del cilindro (área gris).



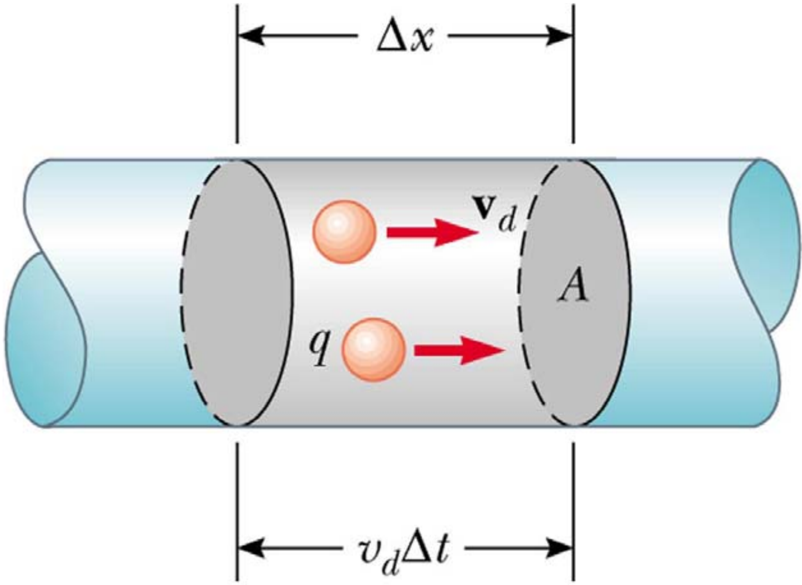
Modelo microscópico

- Este intervalo de tiempo Δt es también el que se requiere para que todas las cargas dentro del cilindro pasen a través del área circular A en uno de sus extremos (sección transversal).

- Con esta elección, se puede escribir ΔQ como:

$$\Delta Q = nVq = (nA\Delta x)q$$

$$\Delta Q = (nAv_d\Delta t)q$$



Modelo microscópico

$$\Delta Q = (nAv_d\Delta t)q$$

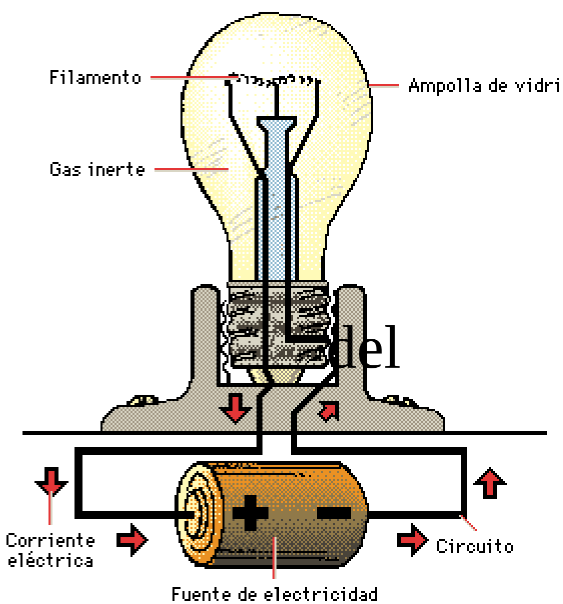
- Si se dividen ambos lados de la ecuación anterior entre Δt, se observa que la corriente eléctrica promedio I_{av} en el conductor es:

$$I_{\text{av}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nqv_dA$$

- Esta ecuación puede utilizarse para calcular la corriente eléctrica promedio debida al flujo de cualquier partícula cargada, simplemente sustituyendo la velocidad de desplazamiento v_d por la velocidad de la partícula.

Aclaraciones importantes

- *Los electrones no tienen que viajar desde el interruptor de la luz hasta el foco para que éste opere*. Los electrones presentes en el filamento del foco se mueven en respuesta al campo eléctrico que establece la batería. Nótese también que una batería no proporciona electrones al circuito, sólo establece una diferencia de potencial que a su vez establece el campo eléctrico que ejerce una fuerza sobre los electrones presentes en los alambres y elementos del circuito.



Problemas

- **Velocidad de desplazamiento en un alambre de Cu.**

  El alambre de Cu de 12-gauge en una típica instalación eléctrica tiene una sección transversal de área 3.31×10^{-6} m^2. Si lleva una corriente eléctrica de 10.0 A

  (A) ¿cuál es la velocidad de desplazamiento de los electrones? Supongan que cada átomo de Cu contribuye con un electrón libre a la corriente eléctrica. La densidad del Cu es 8.95 g/cm^3 y su M. M. es 63.5 g/mol.

  (B) ¿A esa velocidad de desplazamiento, cuanto tardarían los electrones en recorrer 1 m?

Densidad de corriente y Conductividad

- En nuestro estudio del campo eléctrico, se estableció que el campo eléctrico **E** dentro de un conductor es cero sólo si el conductor está en equilibrio electrostático (es decir, sólo si no hay cargas en movimiento). Si esto no fuese así, las cargas libres en el interior de un conductor se moverían.

- Pero… ¿qué pasa cuando las cargas en un conductor no están en equilibrio? es decir, ¿qué pasa cuando el conductor no está en equilibrio electrostático?

- En este caso, sí hay un campo eléctrico dentro del conductor y las cargas libres *se mueven*.

Densidad de corriente y Conductividad

- Cuando un conductor transporta una corriente, existe un campo eléctrico **E** en su interior que ejerce una fuerza eléctrica (**F** = q**E**) sobre las cargas libres.
- El campo eléctrico **E** tiene la dirección de la fuerza que actúa sobre una carga positiva.
- Y la dirección de la corriente eléctrica I es la de un flujo de cargas positivas.
- Entonces, la dirección de la corriente eléctrica I coincide con la del campo eléctrico **E**.

Densidad de corriente y Conductividad

- Consideren un conductor cuya sección transversal tiene un área *A* y que lleva una corriente *I*.
- La **densidad de corriente** *J* en el conductor se define como la corriente eléctrica por unidad de área. Debido a que, según nuestro análisis microscópico, la corriente eléctrica en un conductor es:

$$I = nqv_d A$$

- entonces, la densidad de corriente es:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{nqv_d A}{A} = nqv_d$$

Densidad de corriente y Conductividad

$$J = \frac{I}{A} = \frac{nqv_d A}{A} = nqv_d$$

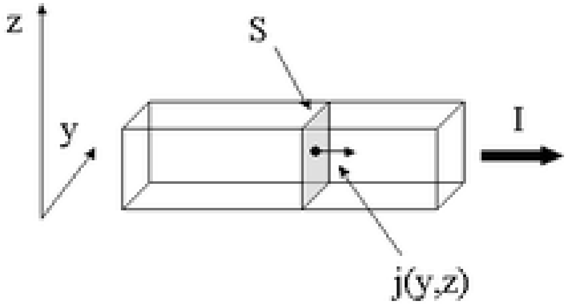
- donde J tiene unidades SI de A/m^2.
- Esta expresión sólo es válida si la densidad de corriente es uniforme y si la superficie de la sección transversal de área A es perpendicular a la dirección de la corriente.
- En general, la densidad de corriente es una cantidad vectorial:

$$\mathbf{J} = nq\mathbf{v}_d$$

Densidad de corriente y Conductividad

$$\mathbf{J} = nq\mathbf{v}_d$$

- A partir de esta ecuación, se puede establecer que:
  - la densidad de corriente tiene la misma dirección que el movimiento de portadores de carga positiva; y
  - la dirección opuesta que el movimiento de portadores de carga negativa.



Densidad de corriente y Conductividad

- **Una densidad de corriente J y un campo eléctrico E se establecen dentro de un conductor siempre que una diferencia de potencial se mantenga a través del conductor.**

- En algunos materiales, la densidad de corriente **J** es proporcional al campo eléctrico **E**:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

- donde la constante de proporcionalidad σ se denomina la **conductividad** del conductor.
  - No confundir la conductividad σ con la densidad de carga superficial, aunque para las dos se utilice el mismo signo.

Ley de Ohm

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

- Los materiales que obedecen esta ecuación se dice que siguen o cumplen la **ley de Ohm**.
- Específicamente, la ley de Ohm (Georg Simon Ohm, físico alemán, 1789-1854, fue quien formuló el concepto de resistencia) establece que
  "para muchos materiales (incluyendo la mayor parte de los metales, la relación de la densidad de corriente **J** y el campo eléctrico **E** es una constante σ que es independiente del campo eléctrico que provoca la corriente eléctrica"

Ley de Ohm

- Los materiales que obedecen la ley de Ohm y, consecuentemente, demuestran la relación simple entre **E** y **J** se conocen como materiales *óhmicos*.

- Sin embargo, experimentalmente se ha encontrado que no todos los materiales tienen esta propiedad.

- Los materiales y dispositivos que no obedecen la ley de Ohm se conocen como materiales *no óhmicos*.

- La ley de Ohm no es una ley fundamental de la naturaleza sino una relación empírica válida únicamente para ciertos materiales.

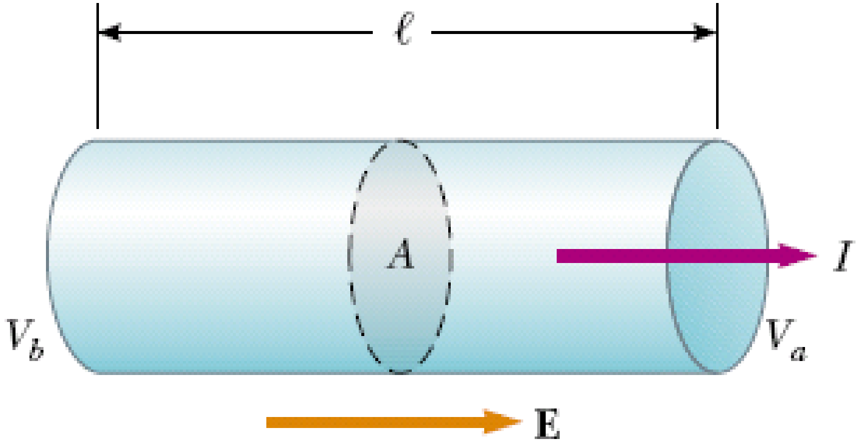
Resistencia

- Se puede obtener una ecuación con muchas aplicaciones prácticas considerando un segmento de alambre recto, de sección transversal uniforme de área *A* y longitud *l* (ver figura).

- Una diferencia de potencial

$$\Delta V = Vb - Va$$

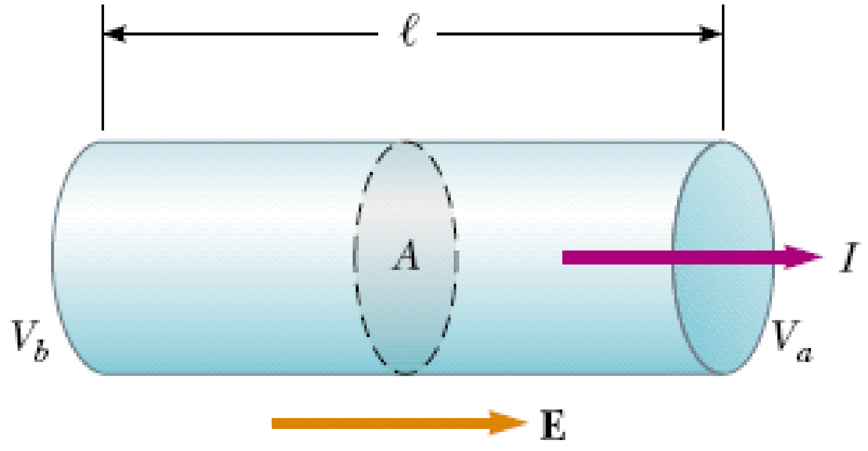
se mantiene a través del alambre, creando un campo eléctrico y una corriente.



Resistencia

- Si el campo eléctrico se supone uniforme, la diferencia de potencial ΔV está relacionada con el campo eléctrico según la ecuación:

$$\Delta V = V_b - V_a = -\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{l} = E \int_0^l dx = El$$



Resistencia

$$\Delta V = El \quad \rightarrow \quad E = \frac{\Delta V}{l}$$

- Entonces, se puede expresar la magnitud de la densidad de corriente en el alambre como:

$$J = \sigma E = \sigma \frac{\Delta V}{l}$$

- y, consecuentemente:

$$\Delta V = \frac{l}{\sigma} J$$

Resistencia

- Si:

$$J = \frac{I}{A} \quad \rightarrow \quad \Delta V = \frac{l}{\sigma} J = \left(\frac{l}{\sigma A}\right) I = RI$$

- donde

$$R = \frac{l}{\sigma A}$$

- es una cantidad denominada **resistencia** del conductor.

Resistencia

- Se puede definir la resistencia R como la relación de la diferencia de potencial eléctrico ΔV a través de un conductor y la corriente eléctrica I en el conductor:

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I}$$

- En el estudio de los circuitos eléctricos se utiliza esta ecuación una y otra vez… así que se debe de aprender de memoria.

$$\Delta V = RI$$

Resistencia

- De este resultado, se puede establecer que la unidad SI de la resistencia es *voltios* por *ampere*. Un voltio por ampere se define como un **ohm** (Ω):

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I}$$

$$1\ \Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$$

- Esta expresión muestra que si una diferencia de potencial de 1 V a través de un conductor provoca una corriente eléctrica de 1 A, la resistencia del conductor es 1 Ω.

Aclaraciones importantes

- La ecuación

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I}$$

no es la ley de Ohm, aunque así lo señalen, incorrectamente, muchos libros.

Esta ecuación es sólo la definición de resistencia, y supone una relación muy importante entre voltaje corriente y resistencia.

La ley de Ohm es la relación lineal entre **J** (la densidad de corriente) y **E** (el campo eléctrico)

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

o, equivalentemente, entre I y ΔV, la cual, indica que la resistencia es constante, independientemente de la diferencia de potencial (voltaje) que se aplique

Resistencia y Resistividad

- El inverso de la conductividad σ es la **resistividad** ρ:

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

  - No confundir la resistividad ρ con la densidad de carga volumétrica, aunque para las dos se utilice el mismo signo.

- donde ρ tiene unidades de ohm-metros ($\Omega\cdot$m).

Resistencia y Resistividad

- Debido a que:

$$R = \frac{l}{\sigma A} \quad \rightarrow \quad R = \rho \frac{l}{A}$$

- es decir, mediante la última ecuación, que relaciona la resistencia y la resistividad, se puede expresar la resistencia de un pedazo uniforme de un material a lo largo de una longitud.

Table 27.1

Resistivities and Temperature Coefficients of Resistivity for Various Materials

Material	Resistivity[a] ($\Omega \cdot m$)	Temperature Coefficient[b] $\alpha[(°C)^{-1}]$
Silver	1.59×10^{-8}	3.8×10^{-3}
Copper	1.7×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Gold	2.44×10^{-8}	3.4×10^{-3}
Aluminum	2.82×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Tungsten	5.6×10^{-8}	4.5×10^{-3}
Iron	10×10^{-8}	5.0×10^{-3}
Platinum	11×10^{-8}	3.92×10^{-3}
Lead	22×10^{-8}	3.9×10^{-3}
Nichrome[c]	1.50×10^{-6}	0.4×10^{-3}
Carbon	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-3}
Germanium	0.46	-48×10^{-3}
Silicon	640	-75×10^{-3}
Glass	10^{10} to 10^{14}	
Hard rubber	$\sim 10^{13}$	
Sulfur	10^{15}	
Quartz (fused)	75×10^{16}	

[a] All values at 20°C.

[b] See Section 27.4.

[c] A nickel–chromium alloy commonly used in heating elements.

Resistencia y Resistividad

- Todo material óhmico tiene una resistividad característica que depende de las propiedades del material y de la temperatura.
- Además, la resistencia de una muestra depende tanto de la geometría como de la resistividad

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

- El valor de la resistividad es muy pequeño para buenos conductores y muy grande para buenos aislantes (ver tabla anterior).
- Un conductor ideal tendría una resistividad cero, y un aislante ideal tendría una resistividad infinita.

Resistencia y Resistividad

- La ecuación

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

- establece que la resistencia de un conductor cilíndrico (*v. gr.* un alambre) es proporcional a su longitud e inversamente proporcional al área de su sección transversal.

Aclaraciones importantes

- Resistencia y resistividad.

- La resistividad es una propiedad de una *sustancia*, mientras que la resistencia es una propiedad de un *objeto*.

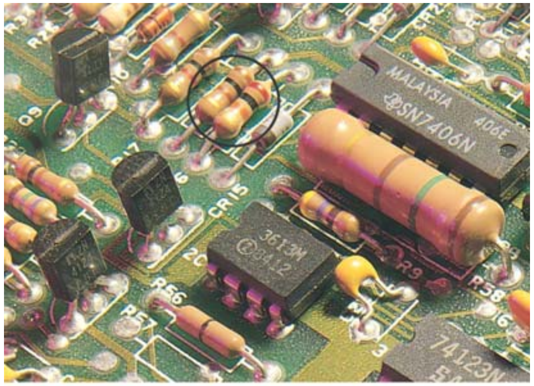
$$\rho = \frac{1}{\sigma} \qquad R = \rho\frac{l}{A}$$

- Ya conocen pares de variables similares. Por ejemplo, la densidad es una propiedad de una sustancia, mientras que la masa es una propiedad de un objeto.

Resistores

- La mayor parte de los circuitos eléctricos utilizan elementos de circuito denominados **resistores o resistencias** para controlar la cantidad de corriente eléctrica en las diferentes partes del circuito.
- Dos tipos comunes de resistencias son el *resistor de composición* o *de carbono* (el carbono posee una resistividad alta) y la *resistencia de alambre en espiral*, el cual consiste en una bobina (espiral) de alambre alrededor de un tubo aislante.

Reistores



- Los valores de la resistencia de los resistores en ohms normalmente se indican mediante un código de bandas de colores (ver tabla). Los dos primeros colores dan los primeros dos dígitos del valor de la resistencia.
  El tercer color representa la potencia de diez por la cual hay que multiplicar el valor de la resistencia. El último color es la tolerancia del valor de la resistencia.

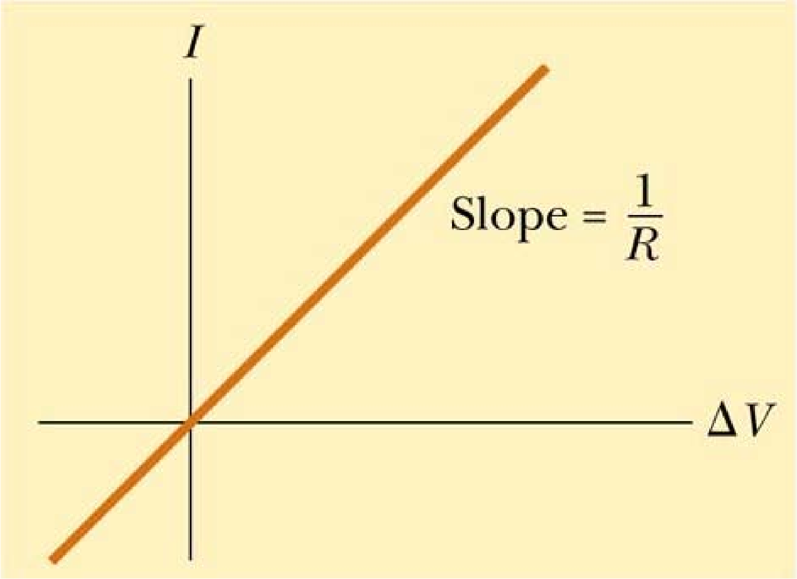
Table 27.2

Color Coding for Resistors

Color	Number	Multiplier	Tolerance
Black	0	1	
Brown	1	10^1	
Red	2	10^2	
Orange	3	10^3	
Yellow	4	10^4	
Green	5	10^5	
Blue	6	10^6	
Violet	7	10^7	
Gray	8	10^8	
White	9	10^9	
Gold		10^{-1}	5%
Silver		10^{-2}	10%
Colorless			20%

Materiales óhmicos

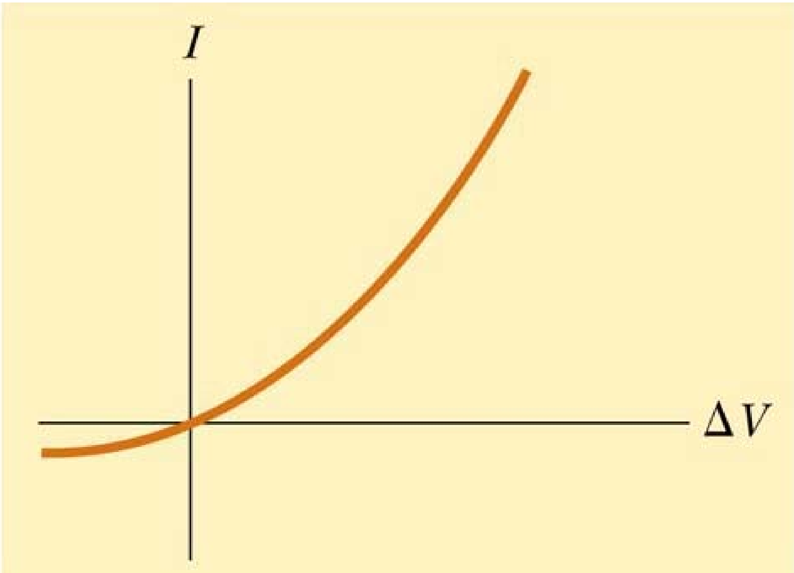
- En los materiales y dispositivos óhmicos:
- la resistencia es constante a lo largo de un amplio intervalo de diferencias de potencial;
- La relación entre la corriente eléctrica, I, y la diferencia de potencial, ΔV, es lineal;
- La pendiente de una gráfica de $I = f(\Delta V)$ es el inverso de la resistencia, R.



Materiales no óhmicos

- Los materiales y dispositivos no óhmicos son aquellos cuya resistencia, *R*, cambia cuando cambian la diferencia de potencial, ΔV, o la corriente eléctrica, *I*.

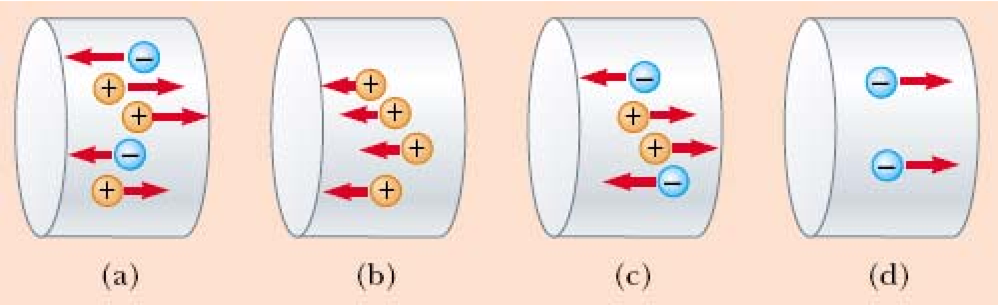
- La relación entre la corriente eléctrica, *I*, y la diferencia de potencial, ΔV, no es lineal.



- Un diodo es un ejemplo común de un dispositivo no óhmico.

Preguntas

- Consideren que cargas positivas y negativas se mueven horizontalmente a través de cuatro regios (ver figura). Ordena la corriente eléctrica I en estas cuatro regiones, de menor a mayor.



- *La carga eléctrica se conserva*. Como una consecuencia, cuando la corriente eléctrica llega a la unión entre alambres, las cargas pueden tomar cualquiera de dos trayectorias fuera de la unión y la suma numérica de las corrientes en las dos trayectorias es igual a la corriente que entró en la unión. Entonces, la corriente eléctrica es: (a) un vector (b) un escalar (c) ni un vector ni un escalar.

Preguntas

- Supongan que un alambre de un metal óhmico, transportador de una corriente eléctrica, tiene un área de su sección transversal que gradualmente se hace más pequeña de un extremo al otro. La corriente debe de tener el mismo valor en cada sección del alambre, de tal manera que la carga no se acumule en ningún punto.

  ¿Cómo varían la velocidad de desplazamiento y la resistencia por unidad de longitud a lo largo del alambre conforme el área de la sección transversal se hace pequeña?

  (a) La velocidad de desplazamiento y la resistencia aumentan.
  (b) La velocidad de desplazamiento y la resistencia disminuyen.
  (c) La velocidad de desplazamiento aumenta y la resistencia disminuye.
  (d) La velocidad de desplazamiento disminuye y la resistencia aumenta.

Preguntas

- Un alambre cilíndrico tiene un radio r y una longitud l. Si tanto r como l se duplican, la resistencia del alambre:

  (a) aumenta

  (b) disminuye

  (c) permanece igual.

- En la gráfica de $I = f(\Delta V)$ para un diodo (un material no óhmico), conforme el voltaje (o diferencia de potencial) aplicado aumenta, la resistencia del diodo:

  (a) aumenta

  (b) disminuye

  (c) permanece igual.

Problemas

- **La resistencia de un conductor**.

  Calcula la resistencia de un cilindro de Al que tiene una longitud de 10.0 cm y una sección transversal de área 2.00×10^{-4} m^2 (la resistividad del Al es 2.82×10^{-8} Ω·m). Repite el cálculo para un cilindro de las mismas dimensiones pero hecho de vidrio y con una resistividad de 3.0×10^{10} Ω·m.

- **La resistencia de un alambre de Nichrome.**

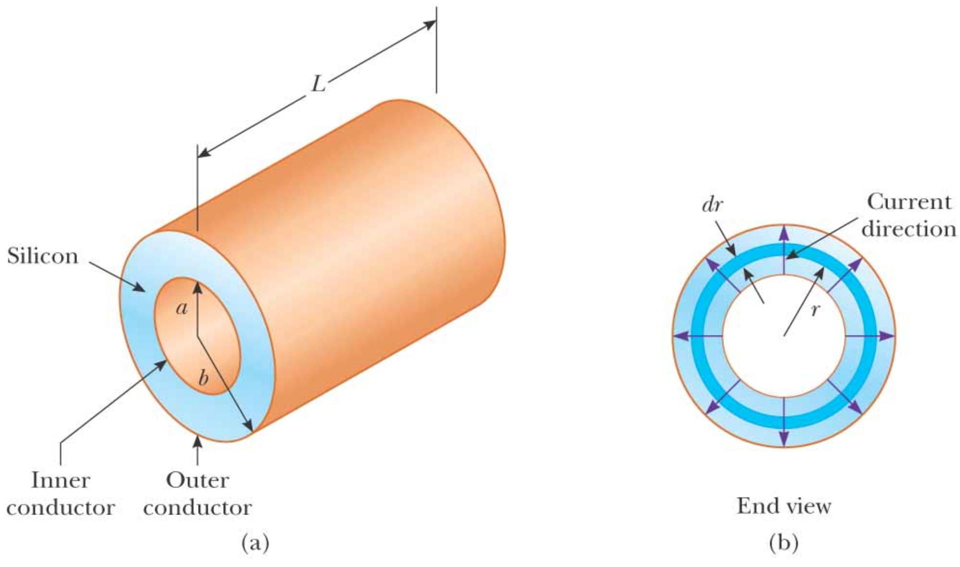
  (A) Calcula la resistencia por unidad de longitud de un alambre de Nichrome 22-gauge, el cual tiene un radio de 0.321 mm (la resistividad del Nichrome es 1.5×10^{-6} Ω·m).

  (B) Si se mantiene una diferencia de potencial de 10 V a través de 1.0 m (longitud) de un alambre de Nichrome ¿Cuál es la corriente eléctrica I en el alambre?

Problemas

- **La resistencia radial de un cable coaxial.**

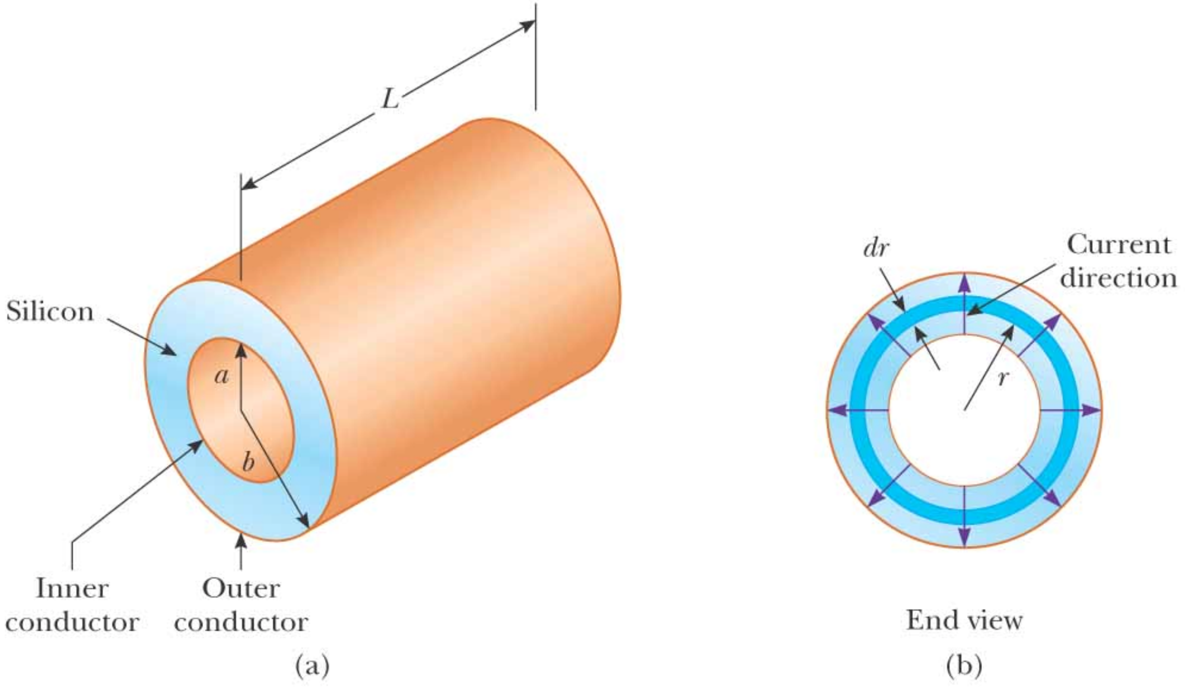
  Los cables coaxiales se usan extensivamente en televisión por cable y en otras aplicaciones electrónicas.
  Un cable coaxial consiste de dos conductores cilíndricos concéntricos.
  La región entre los conductores está completamente llena con silicón (ver figura), y se busca evitar la pérdida de corriente eléctrica a través del silicón en la dirección *radial* (el cable está diseñado para conducir una corriente eléctrica a lo largo de su longitud, aunque esta no es la corriente que se considera en el problema).



Problemas

El radio del conductor interior es a = 0.5 cm, el radio del conductor exterior es b = 1.75 cm, y la longitud es L = 15 cm.

Calcula la resistencia del silicón entre los dos conductores.



Un modelo para la conducción eléctrica

- Este modelo *clásico* para describir la conducción eléctrica en los metales fue propuesto por Paul Drude (1863–1906) en 1900 y desarrollado por Hendrik A. Lorentz en 1909.

- A partir de este modelo (**modelo clásico de la conducción eléctrica)** se obtiene la ley de Ohm y se muestra que la conductividad y la resistividad se pueden relacionar con el movimiento de los electrones en los metales.

- Aunque el modelo de Drude que se describe a continuación tiene limitaciones, introduce conceptos que aún se aplican en modelos y teorías más elaboradas.

Un modelo para la conducción eléctrica

- Consideren un conductor como un arreglo regular tridimensional de átomos o iones más un conjunto de electrones libres, denominado comúnmente como electrones de conducción.

- Estos electrones de conducción, aunque están unidos o ligados a sus respectivos átomos cuando los átomos no forman parte de un sólido, adquieren movilidad cuando los átomos libres se condensan en un sólido.

- En ausencia de un campo eléctrico, los electrones de conducción se mueven a través del conductor en direcciones aleatorias con velocidades promedio del orden de 10^6 m/s (mucho mayor que v_d).

Un modelo para la conducción eléctrica

- La situación es similar al movimiento de moléculas de una gas en un recipiente.
- De hecho, algunos autores se refieren a los electrones de conducción en un metal como un *gas de electrones*.
- En ausencia de un campo eléctrico no hay corriente en el conductor debido a que la velocidad de desplazamiento de los electrones libres es cero (si $\mathbf{E} = 0 \rightarrow I = 0$ pues $v_d = 0$).
- Es decir, en promedio, los electrones que se mueven en una dirección son los mismo que se mueven en la otra y, por lo tanto, no hay un flujo neto de carga.

Un modelo para la conducción eléctrica

- La situación cambia cuando se aplica un campo eléctrico **E**.

- Así, además del movimiento aleatorio que experimentan, los electrones libres se desplazan lentamente en una dirección contraria a la del campo eléctrico **E**.

- La velocidad promedio de desplazamiento v_d es mucho menor (típicamente de 10^{-4} m/s) que sus velocidades promedio entre colisiones (típicamente de 10^6 m/s).

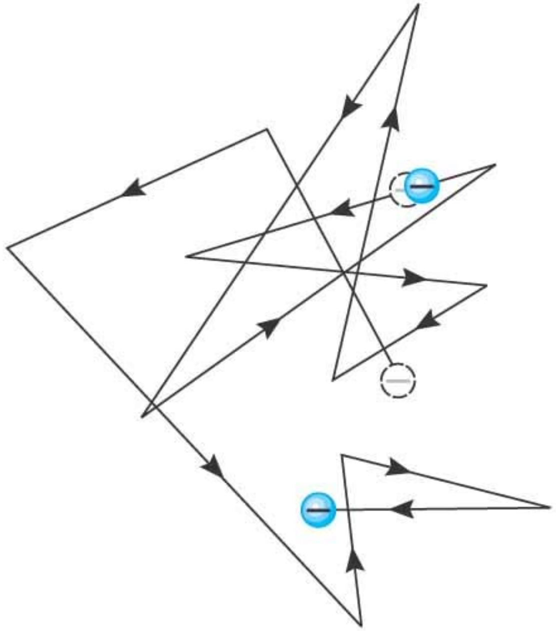
Un modelo para la conducción eléctrica

- La siguientes figuras dan una descripción rudimentaria del movimientos de los electrones libres en un conductor.

- En ausencia de un campo eléctrico **E**, después de muchas colisiones no hay un desplazamiento neto.

- El movimiento es aleatorio.

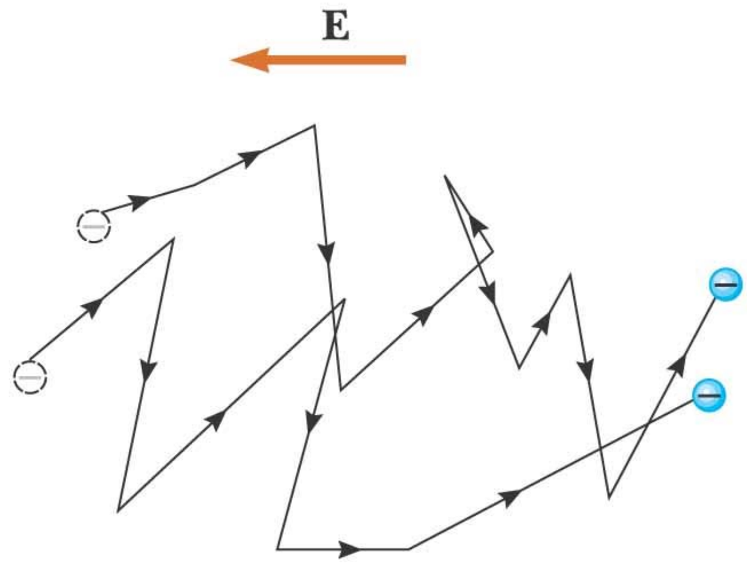
- La velocidad de desplazamiento v_d es cero.



(a)

Un modelo para la conducción eléctrica

- Se aplica un campo eléctrico **E** en el conductor.
- El campo eléctrico **E** modifica el movimiento aleatorio de los electrones libres.
- Los electrones se desplazan en una dirección opuesta a la del campo eléctrico **E** con una velocidad v_d.



(b)

Un modelo para la conducción eléctrica

- En este modelo, se asume que el movimiento de un electrón después de una colisión es independiente de su movimiento antes de la colisión.

- También se asume que el exceso de energía adquirida por los electrones en el campo eléctrico **E**, se pierde al transferirse a los átomos del conductor cada vez que ocurre una colisión electrón-átomos.

- La energía cedida a los átomos aumenta la energía vibracional de estos, lo cual provoca que la temperatura del conductor aumente.

Un modelo para la conducción eléctrica

- Es en este momento cuando se puede obtener una expresión para la velocidad de desplazamiento.
- Cuando un electrón libre de masa m_e y carga $q = -e$, es sometido a la acción de un campo eléctrico $\mathbf{E}$, experimenta una fuerza eléctrica $\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$.
- Debido a que esta fuerza está relacionada con la aceleración del electrón mediante la segunda ley de Newton ($\mathbf{F} = m\mathbf{a}$), se puede concluir que la aceleración del electrón es:

$$\mathbf{F} = m_e\mathbf{a} = q\mathbf{E} \quad \rightarrow \quad \mathbf{a} = \frac{q\mathbf{E}}{m_e}$$

Un modelo para la conducción eléctrica

- Esta aceleración, la cual ocurre únicamente por un intervalo de tiempo pequeño entre las colisiones, es la que permite al electrón adquirir una pequeña velocidad de desplazamiento.

- Si $\mathbf{v}_i$ es la velocidad inicial del electrón el instante después de una colisión (la cual ocurre a un tiempo que se define como $t = 0$), entonces la velocidad final del electrón a un tiempo t (al cual ocurre la siguiente colisión) es:

$$\mathbf{v}_f = \mathbf{v}_i + \mathbf{a}t = \mathbf{v}_i + \frac{q\mathbf{E}}{m_e}t$$

Un modelo para la conducción eléctrica

- Ahora se debe considerar el valor promedio de $\mathbf{v}_f$ en todos los posibles tiempo de colisión *t* y con todos los valores posible de $\mathbf{v}_i$.
- Si se considera que las velocidades iniciales están distribuidas aleatoriamente sobre todos los posibles valores, entonces el valor promedio de $\mathbf{v}_i$ es cero ($\mathbf{v}_i = 0$).
- El término

$$\left(\frac{q\mathbf{E}}{m_e}\right)t$$

es el cambio en la velocidad del electrón debido al campo eléctrico, en el intervalo de tiempo que acontece entre sus colisiones sucesivas con los átomos.

Un modelo para la conducción eléctrica

- El valor promedio de dicho término es:

$$\left(\frac{q\mathbf{E}}{m_e}\right)\tau$$

dónde τ es el *intervalo de tiempo promedio entre colisiones sucesivas*.

- Como el valor promedio de $\mathbf{v}_f$ es igual a la velocidad de desplazamiento, se obtiene que:

$$\bar{\mathbf{v}}_f = \mathbf{v}_d = \left(\frac{q\mathbf{E}}{m_e}\right)\tau$$

Un modelo para la conducción eléctrica

- Se puede relacionar la expresión de la velocidad de desplazamiento con la corriente en el conductor.

$$J = \frac{I}{A} = \frac{nqv_d A}{A} = nqv_d$$

$$\mathbf{J} = nq\mathbf{v}_d$$

- Así, la magnitud de la densidad de corriente (J) es:

$$J = nqv_d = nq\left(\frac{qE}{m_e}\right)\tau = \frac{nq^2E}{m_e}\tau$$

- donde n es el número de portadores de carga por unidad de volumen (*i.e.* densidad de portadores de carga) y $q = -e$.

Un modelo para la conducción eléctrica

- Comparando la expresión para la magnitud de la densidad de corriente con la ley de Ohm:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \rightarrow J = \sigma E \quad ; \quad J = \frac{ne^2 E}{m_e} \tau$$

se obtienen las siguiente relaciones, en término de cantidades microscópicas, para la conductividad (σ) y resistividad (ρ) de un conductor :

$$\sigma = \frac{ne^2 \tau}{m_e} \qquad \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m_e}{ne^2 \tau}$$

Un modelo para la conducción eléctrica

- Por lo tanto, con base en un modelo clásico, la conductividad (σ) y la resistividad (ρ) no dependen de la fuerza del campo eléctrico.

- Esta conclusión es una característica de un conductor que obedece la ley de Ohm.

- El intervalo de tiempo promedio τ entre colisiones está relacionado con la distancia promedio entre colisiones ℓ (es decir, la trayectoria libre promedio) y la velocidad media $\bar{v}$, mediante la expresión:

$$\tau = \frac{\ell}{\bar{v}}$$

Un modelo para la conducción eléctrica

- De esta manera:

$$\sigma = \frac{ne^2\ell}{m_e\bar{v}} \qquad \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m_e\bar{v}}{ne^2\ell}$$

Un modelo para la conducción eléctrica

- Según la ley de Ohm, la conductividad y la resistividad son independientes del campo eléctrico E.
- Como se ha visto, la velocidad media de los electrones en equilibrio térmico con los iones de la red es mucho mayor que la velocidad de desplazamiento, así, el campo eléctrico no influye esencialmente en la velocidad media.
- Además, la trayectoria libre promedio de los electrones depende del tamaño de los iones de la red y de la densidad de los iones, pero no del campo eléctrico.
- Por tanto, el modelo predice la ley de Ohm.

Un modelo para la conducción eléctrica

- A pesar de su éxito al predecir la ley de Ohm, la teoría clásica de la conducción eléctrica tiene diferentes defectos.
- La dependencia con la temperatura no es correcta.

  La dependencia con la temperatura de la conductividad y la resistividad, según el modelo clásico, viene dada completamente por la velocidad media, la cual es proporcional a $\sqrt{T}$.

  Es decir, no se obtiene una dependencia lineal con la temperatura.
- Además, el modelo clásico no dice nada sobre la razón por la cual algunos materiales son conductores, otros aislantes y otros semiconductores.

Problemas

- **Colisiones electrónicas en un alambre**.

  (A) Utilizando datos y resultados del problema de *velocidad de desplazamiento en un alambre de Cu*, y aplicando el modelo clásico de la conducción de electrones, calcule el intervalo de tiempo promedio τ entre colisiones para los electrones en la instalación eléctrica (cableado) de una casa.

  (B) Considerando que la velocidad promedio para los electrones libres en el Cu es 1.6×10^6 m/s y utilizando el resultado del inciso (A), calcule la trayectoria libre promedio de los electrones en el Cu.

Resistencia y Temperatura

- A lo largo de un intervalo de temperatura limitado, la resistividad (y por tanto, la conductividad) de un conductor varía de manera aproximadamente lineal con la temperatura, de acuerdo a la expresión:

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

donde ρ es la resistividad a alguna temperatura T (en ºC), ρ_0 es la resistividad a alguna temperatura de referencia T_0 (usualmente, 20 ºC), y α es el **coeficiente de temperatura de la resistividad.**

Resistencia y Temperatura

- El coeficiente de temperatura de la resistividad puede expresarse como:

$$\alpha = \frac{1}{\rho_0}\frac{(\rho - \rho_0)}{(T - T_0)} = \frac{1}{\rho_0}\frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

donde $\Delta\rho = \rho - \rho_0$ es el cambio en la resistividad en el intervalo de temperatura $\Delta T = T - T_0$.

- Se debe notar que la unidad del coeficiente de temperatura de la resistividad es: α [=] $^{\circ}C^{-1}$ (ver tabla).

Resistencia y Temperatura

- Debido a que la resistencia R es proporcional a la resistividad ρ, se puede establecer que la variación de la resistencia con la temperatura es:

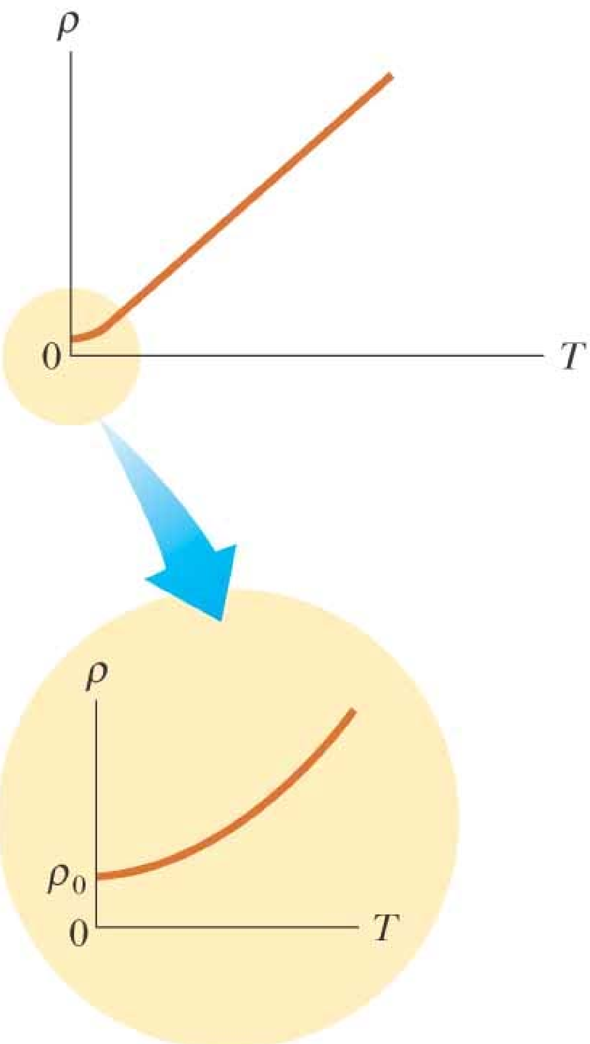
$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

- El uso de esta propiedad permite llevar a cabo mediciones de temperatura con gran precisión.
- Es decir, como la resistencia de un conductor con una sección transversal de área uniforme es proporcional a la resistividad, se puede calcular el efecto de la temperatura en la resistencia.

Resistencia y Temperatura

- Para metales (por ejemplo, el Cu) la resistividad es prácticamente proporcional a la temperatura (ver gráfica).

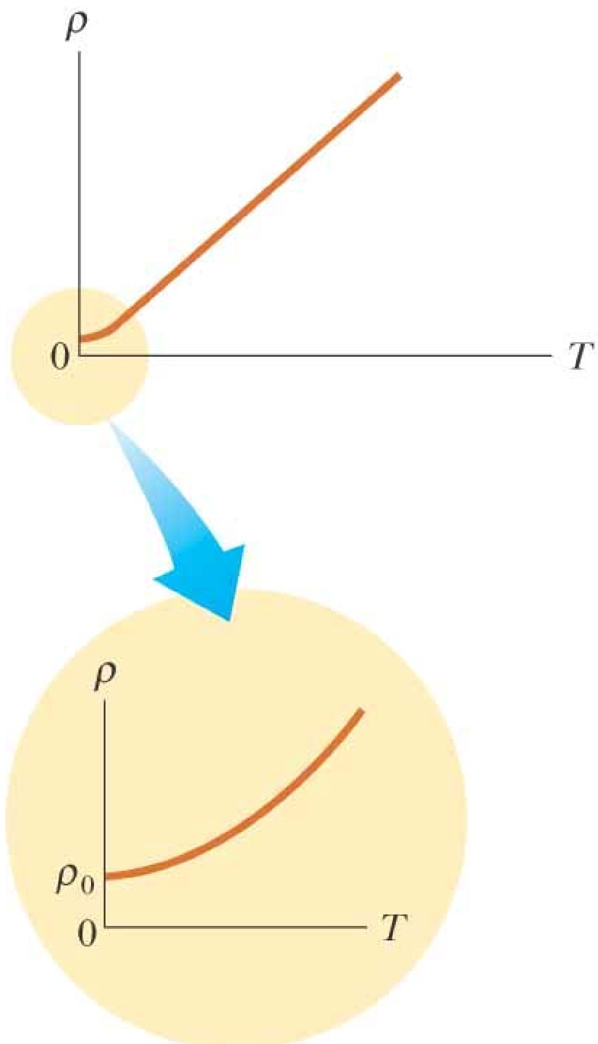
- Sin embargo, a temperaturas muy bajas siempre existe una región no lineal, y la resistividad usualmente alcanza un valor finito conforme la temperatura se aproxima al cero absoluto.



Resistencia y Temperatura

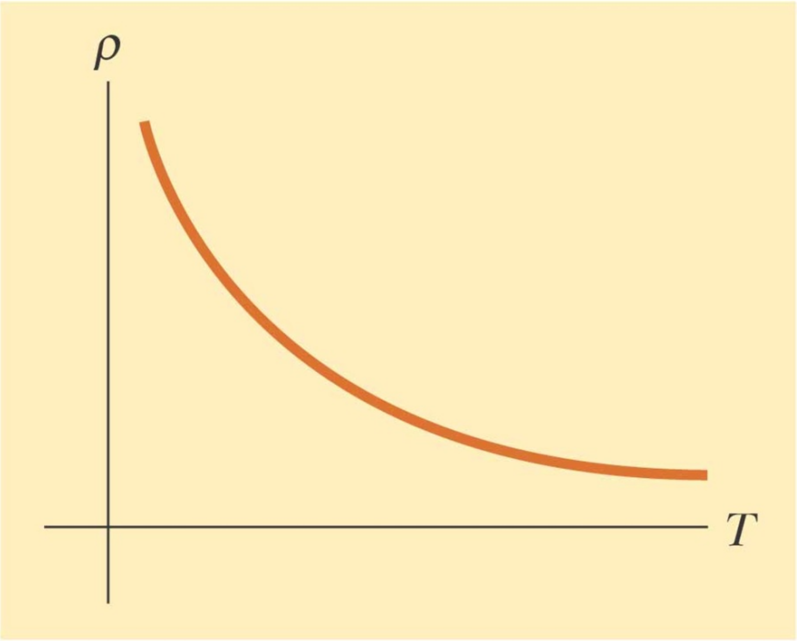
- Esta resistividad residual cerca del cero absoluto se debe principalmente a la colisión de electrones con impurezas e imperfecciones en el metal.

- Por otro lado, la resistividad a altas temperaturas (la región lineal) se caracteriza principalmente por las colisiones entre electrones y átomos metálicos.



Resistencia y Temperatura

- Una valor negativo para el coeficiente de temperatura de la resistividad α, indica que la resistividad disminuye conforme aumenta la temperatura (ver figura).
- Los materiales que exhiben una disminución en la resistividad conforme aumenta la temperatura se denominan *semiconductores*.
- Este comportamiento se debe a que a temperaturas altas ocurre un aumento en la densidad de portadores de carga.



Resistencia y Temperatura

- Debido a que los portadores de carga en un semiconductor están, por lo general, asociados con impurezas (*v. gr.* otros átomos), la resistividad de estos materiales es muy sensible al tipo y concentración de tales impurezas (para lo cual se utiliza un proceso que se conoce como *dopado*)

- Los materiales semiconductores tienen una gran aplicación en sensores químicos, biosensores y procesadores de equipos de computación, comunicaciones, audio y video.

Problemas

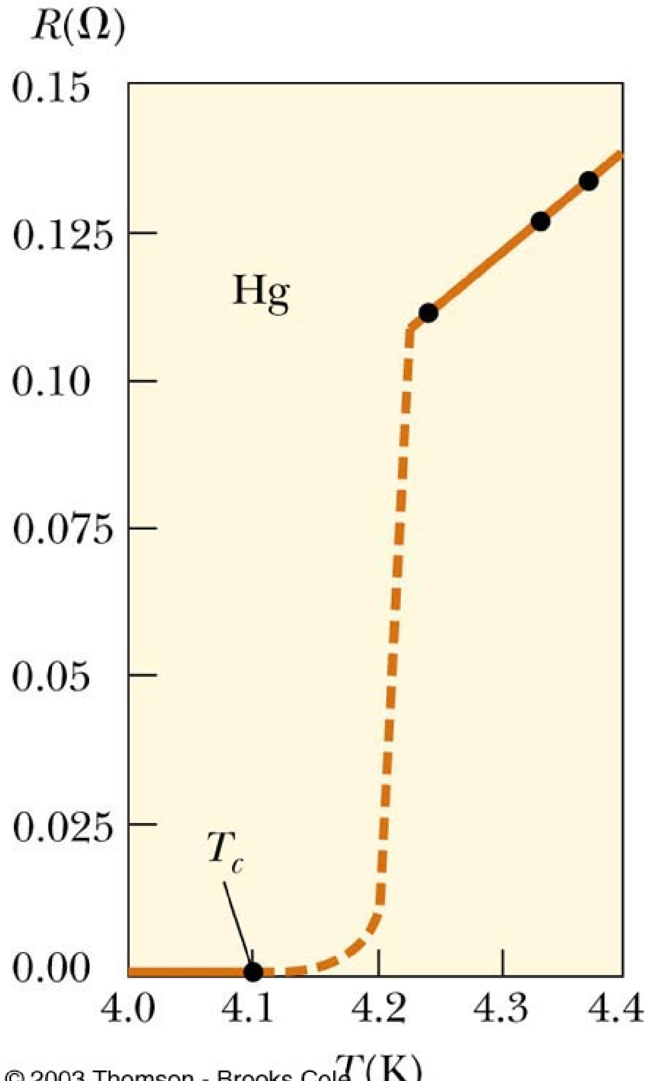
- **Un termómetro por resistencia de Pt.**

  Un termómetro por resistencia, el cual mide la temperatura mediante la medición del cambio en la resistencia de un conductor, está hecho de Pt (platino) y tiene un resistencia de 50.0 Ω a 20.0 ºC. Cuando se sumerge en un recipiente que contiene In (indio) líquido, su resistencia aumenta a 76.8 Ω. Calcule el punto de fusión del In.

Superconductores

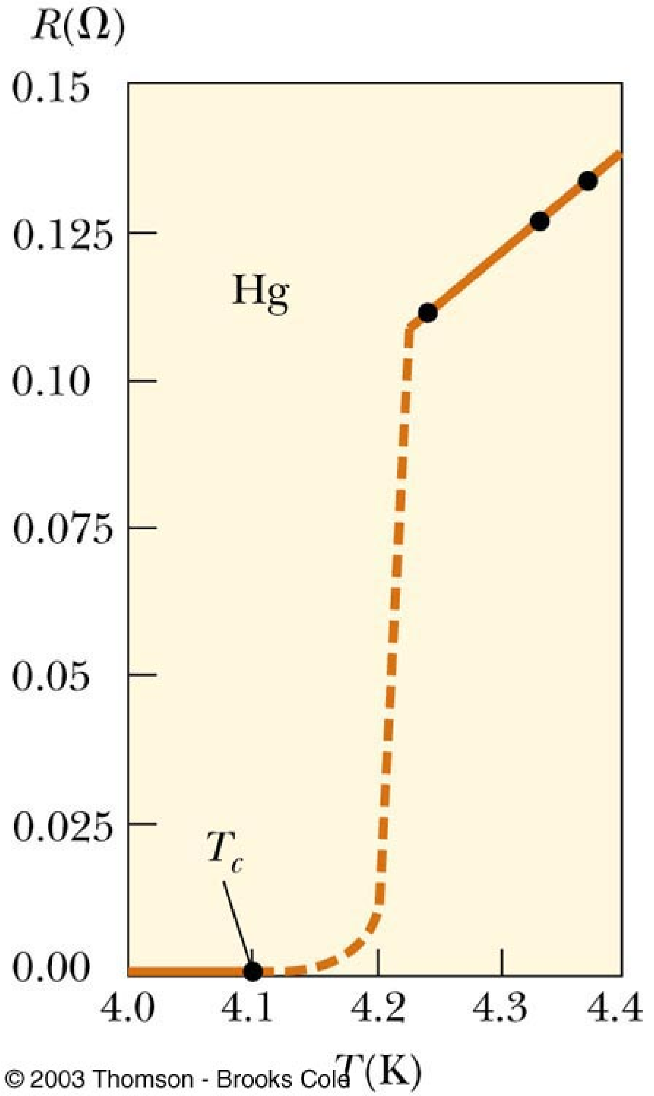
- Hay una clase de metales y compuestos, conocidos como **superconductores**, cuya resistencia *R* disminuye hasta cero cuando se encuentran por debajo de cierta temperatura T_c , conocida como **temperatura crítica**.

- La gráfica $R = f(T)$ para un superconductor tiene la misma forma que para un metal normal a temperaturas mayores que T_c.



Superconductores

- Sin embargo, cuando la temperatura es igual o menor que T_c, la resistividad desciende súbitamente a cero.
- Este fenómeno fue descubierto en 1911 por el físico holandés Heike Kamerlingh-Onnes (1853–1926) mientras trabajaba con Hg, que es superconductor por debajo de los 4.2 K.



Superconductores

- Mediciones recientes han demostrado que las resistividades de los superconductores por debajo de sus valores T_c son menores que 4×10^{-25} Ω·m (aproximadamente 10^7 veces más chicas que la resistividad del Cu) y en la práctica se consideran como cero.

- Para hacer estas mediciones se utiliza He líquido (cuyo punto de ebullición ocurre a 4.2 K), el cual es muy caro y requiere de alta tecnología para su manejo.

- A pesar de esto, se han construido muchos imanes superconductores, pues tales imanes no producen calor.

Superconductores

- Ahora, se conocen miles de superconductores, y como lo ilustra la siguiente tabla, las temperaturas críticas de superconductores recientemente descubiertos (especialmente óxidos cerámicos) son substancialmente mayores que lo que inicialmente se creía posible.

Critical Temperatures for Various Superconductors

Material	T_c(K)
$HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$	134
Tl–Ba–Ca–Cu–O	125
Bi–Sr–Ca–Cu–O	105
$YBa_2Cu_3O_7$	92
Nb_3Ge	23.2
Nb_3Sn	18.05
Nb	9.46
Pb	7.18
Hg	4.15
Sn	3.72
Al	1.19
Zn	0.88

Superconductores

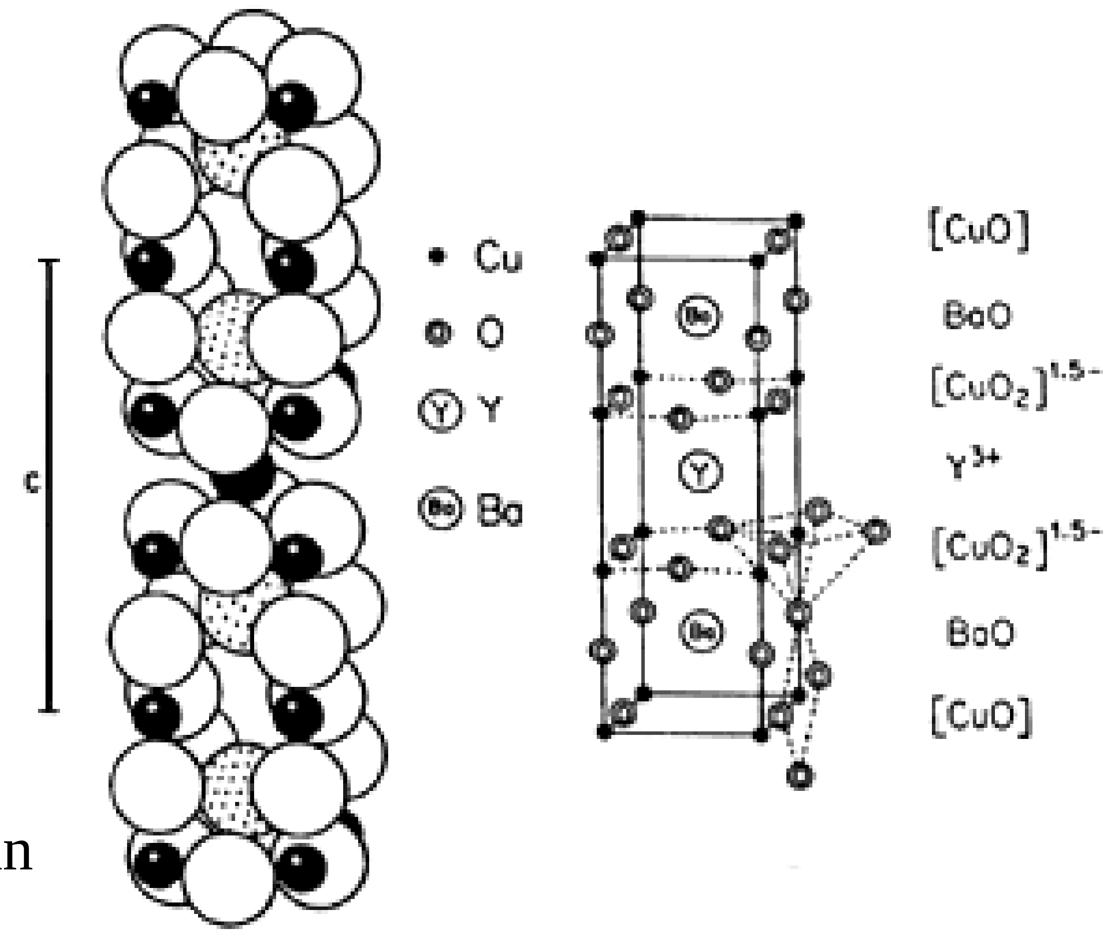
- Estos descubrimientos han revolucionado la ciencia de la superconductividad, pues el nitrógeno líquido, relativamente barato, cuyo punto de ebullición ocurre a los 77 K, puede utilizarse para enfriar muchos de esos óxidos cerámicos.

- Sin embargo, existen múltiples problemas, tales como la fragilidad de los óxidos cerámicos, que hacen difícil el uso o aplicación de estos superconductores.

- Eso sí, si alguna vez se identifica un superconductor a temperatura ambiente, si impacto en la tecnología sería tremendo.

Superconductores

- El valor de la temperatura crítica T_c depende de la composición química, la presión y la estructura molecular (es importante señalar que Cu, Ag, y Au, los cuales son excelentes conductores, no muestran superconductividad).



Superconductores

- Una de las características realmente sorprendente y extraordinaria de los superconductores es que una vez se establece una corriente en ellos, ésta persiste *sin tener que aplicar una diferencia de potencial*.

- La conductividad (σ) de un superconductor no puede definirse, pues su resistencia es cero ($R = 0$).

- Por tanto, existe corriente en el superconductor aun cuando no se aplique una diferencia de potencial y el campo eléctrico sea cero ($\mathbf{E} = 0$).

Superconductores

- En efecto, se ha observado la persistencia durante años, de corrientes eléctricas estacionarias sin pérdida (o decaimiento) aparente en anillos superconductores en los cuales no existía campo eléctrico.

- El fenómeno de la superconductividad no puede entenderse en términos de la física clásica; en su lugar es necesaria la mecánica cuántica (desarrollada en el s.XX).

- La primera teoría fructífera de la superconductividad fue publicada por John Bardeen, Leon Cooper, y Robert Schrieffer en 1957 y se conoce con el nombre de teoría BCS.

Superconductores

- Estos físicos fueron galardonados con el Premio Nobel de Física en 1972 por dichos trabajos.

- La teoría BCS describe bien los superconductores metálicos (los únicos conocidos en la época en que la teoría fue formulada), pero aparentemente no basta para entender los nuevos superconductores de temperaturas críticas mayores.

Superconductores

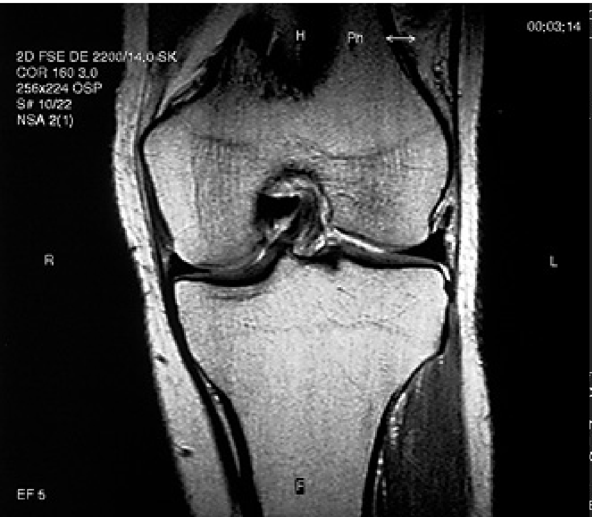
- Una importante aplicación de la superconductividad es el desarrollo de imanes superconductores, en los cuales las magnitudes del campo magnético son aproximadamente diez veces mayor que los producidos por los mejores electroimanes normales.
- Tales imanes superconductores se consideran como medios para almacenar energía.

Courtesy of IBM Research Laboratory

A small permanent magnet levitated above a disk of the superconductor $YBa_2Cu_3O_7$, which is at 77 K.

Superconductores

- Los imanes superconductores se utilizan actualmente en imagenología médica por resonancia magnética (MRI), mediante la cual se obtienen imágenes de órganos internos con alta definición, sin necesidad de someter a los pacientes a una exposición excesiva a rayos X u otros tipos de radiación dañina.



Potencia eléctrica

- Si se utiliza un batería para establecer una corriente eléctrica en un conductor, hay una transformación continua de energía química en la batería a energía cinética de los electrones, la cual, a su vez, se transforma en energía interna en el conductor, lo cual provoca un aumento en su temperatura.

- La batería establece una diferencia de potencial, que a su vez, genera un campo eléctrico en el conductor, el cual acelera los electrones libre durante un intervalo corto de tiempo.

Potencia eléctrica

- Esta aceleración implica que los electrones adquieren un incremento de energía cinética que rápidamente se convierte en energía térmica del conductor debido a las colisiones entre los electrones y la red de iones o átomos del conductor.

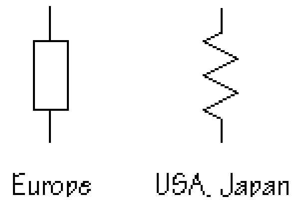
- Es decir, aunque los electrones adquieren continuamente energía debido a la acción del campo eléctrico, ésta se transfiere inmediatamente en forma de energía térmica del conductor y los electrones mantienen, en promedio, una velocidad de desplazamiento estacionaria.

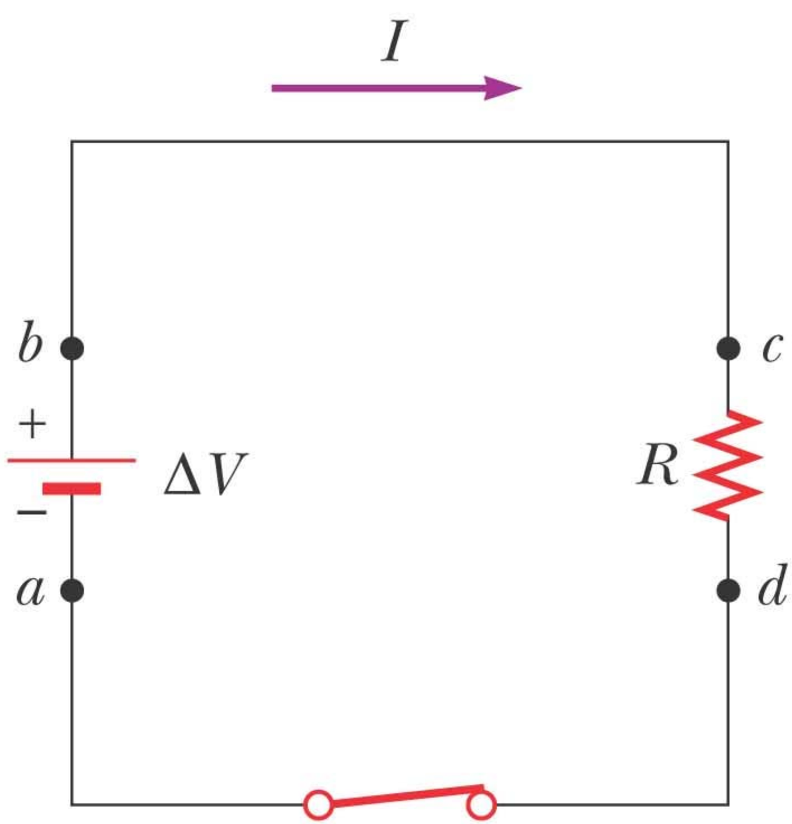
Potencia eléctrica

- En general, cuando fluyen cargas positivas en el interior de un conductor, el flujo se realiza desde un potencial alto hacia un potencial bajo, en el sentido del campo eléctrico (evidentemente, los electrones cargados negativamente fluyen en sentido opuesto).
- La carga pierde así energía potencial. Esta pérdida de energía potencial supone un aumento en la energía cinética de los portadores de carga, sólo momentáneamente antes de que se transfiera a los iones o átomos de la red debido a las colisiones, activándose diferentes modos vibracionales de éstos.
- Es decir, hay un incremento de energía térmica en el conductor.

Potencia eléctrica

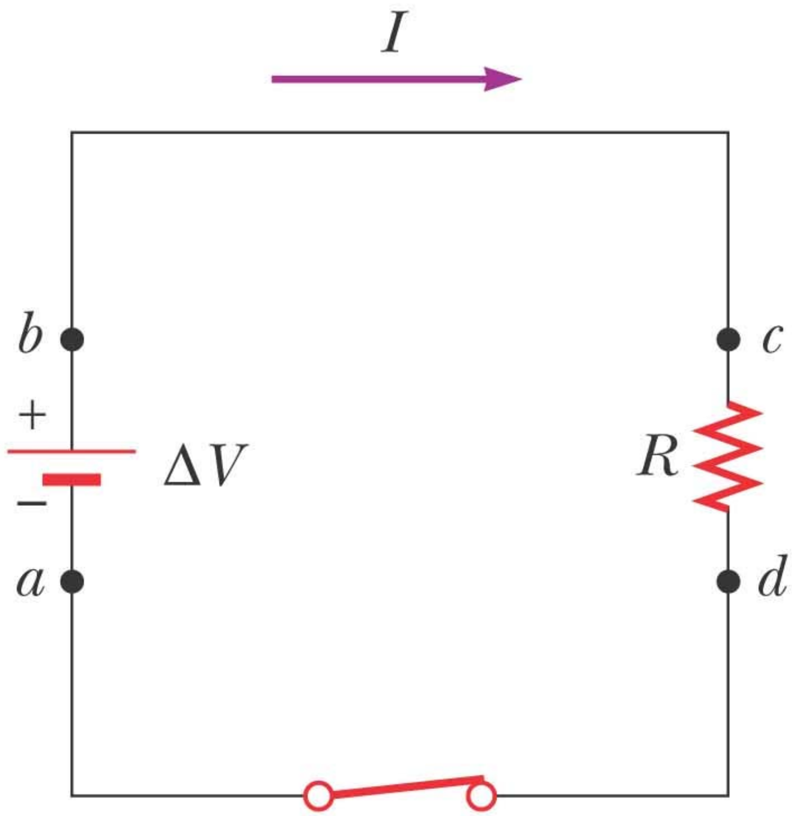
- En los circuitos eléctricos típicos, la energía se transfiere desde una fuente (una batería) hacia algún dispositivo o aparato.
- Entonces, es necesario establecer una expresión que permita calcular la velocidad de esta transferencia de energía.
- Primero, consideren un circuito eléctrico simple (ver figura), en el cual se considera que la energía se transfiere a un resistor.





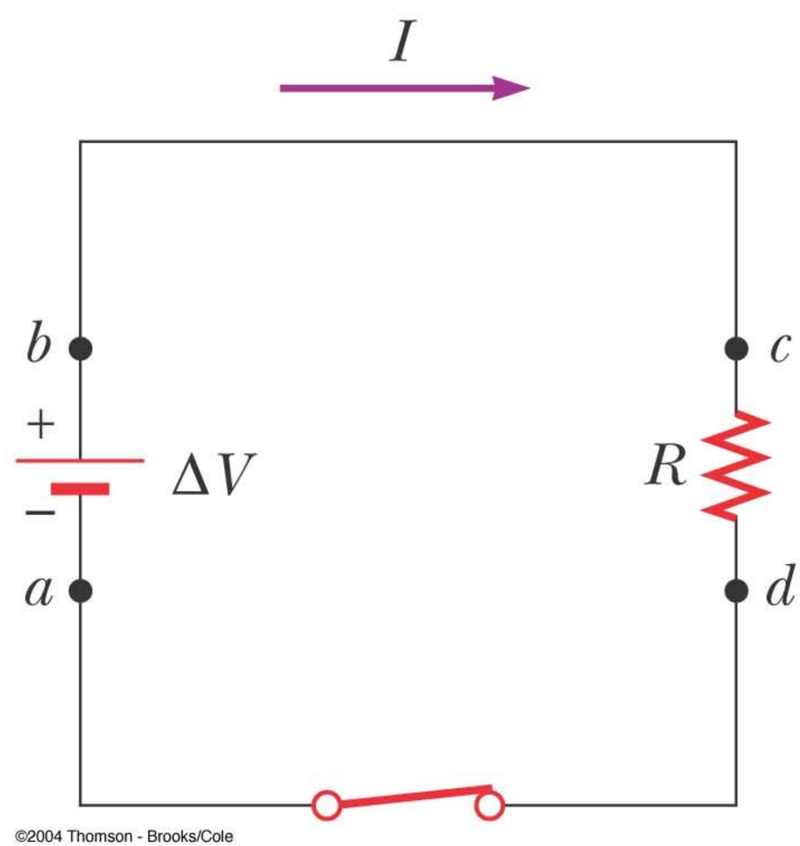
Potencia eléctrica

- Debido a que los alambres conectores también tienen resistencia, una parte de la energía se transfiere a los cables y otra parte al resistor.
- A menos que se señale lo contrario, se debe asumir que la resistencia de los alambres es tan pequeña en comparación con la resistencia del elemento del circuito que se puede ignorar la energía transferida a los alambres.



Potencia eléctrica

- Imaginen que van siguiendo una cantidad Q de carga positiva, que se mueve en el circuito en el sentido de las manecillas del reloj, desde el punto *a*, a través de la batería y el resistor, y de regreso al punto *a* (*i.e.* todo el circuito eléctrico es el sistema de estudio).



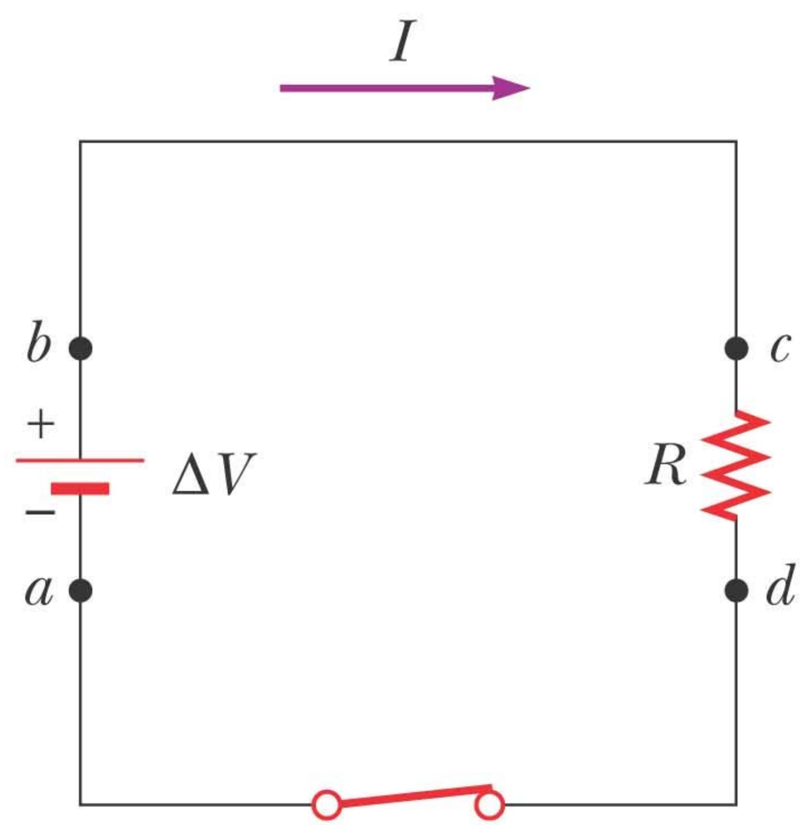
- Conforme la carga se mueve de *a* hacia *b* a través de la batería, la energía potencial eléctrica del sistema *aumenta*

$$\Delta U = Q\Delta V$$

Potencia eléctrica

- Al mismo tiempo, la energía potencial química en la batería *disminuye* la misma cantidad.

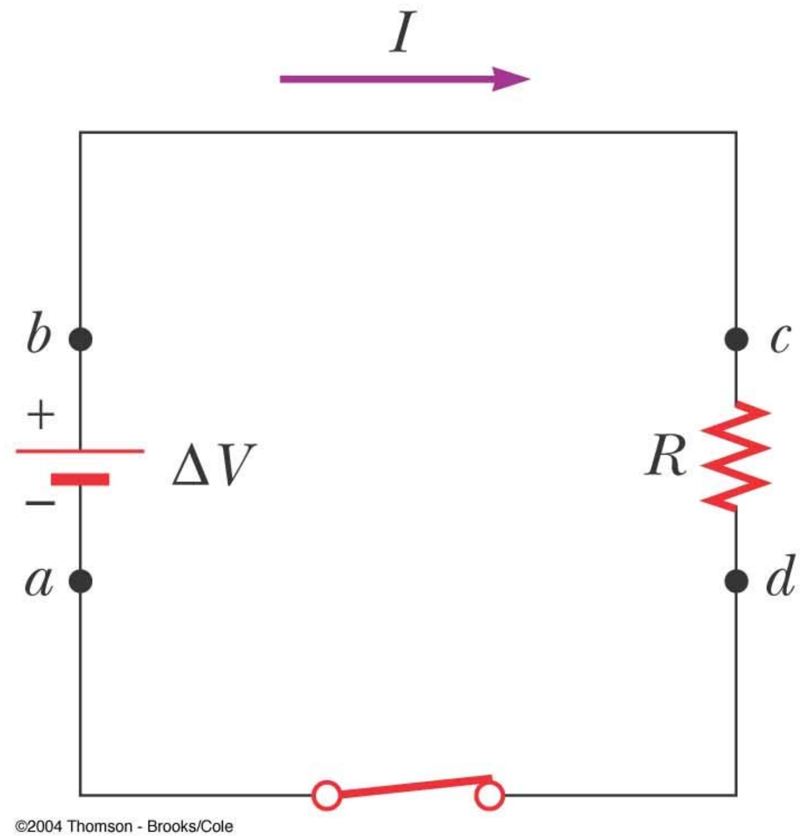
- Sin embargo, conforme la carga se mueve de *c* a *d* a través del resistor, el sistema *pierde* esta energía potencial eléctrica debido a las colisiones de los electrones (portadores de carga) con los átomos presentes en el resistor.



Potencia eléctrica

- En este proceso, la energía se transforma en energía interna, la cual corresponde al aumento en el movimiento vibracional de los átomos en el resistor.

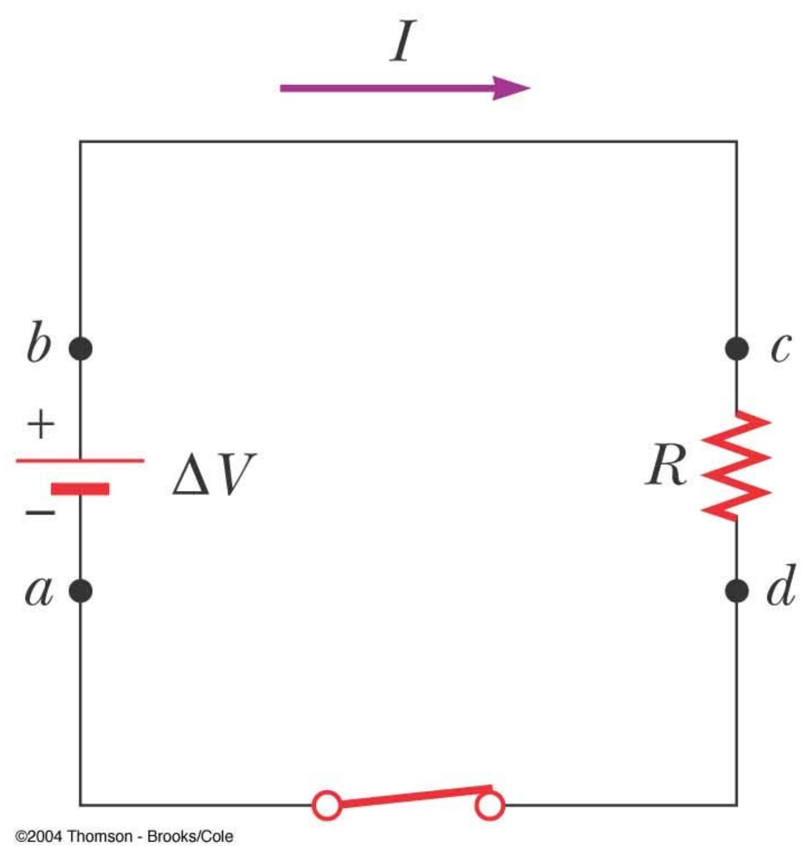
- Debido a que se ha despreciado la resistencia de los alambres conectores, no ocurre ninguna transformación de energía entre las trayectorias *bc* y *da*.



Potencia eléctrica

- Cuando la carga regresa al punto *a*, el resultado neto es que parte de la energía química en la batería se ha transferido al resistor y ahora se encuentra en el resistor como energía interna asociada a la vibración molecular.

- Un resistor normalmente está en contacto con el aire, de tal manera que el aumento de su temperatura provoca una transferencia de energía, en forma de calor, hacia el aire.



Potencia eléctrica

- Es decir, el resistor emite radiación térmica, lo cual representa otro medio de escape para la energía.

- Después de que ha transcurrido cierto intervalo de tiempo, el resistor alcanza una temperatura constante, lo cual supone que la energía que gana desde la batería está en equilibrio con la energía que pierde mediante calor y radiación.

- Algunos artefactos, dispositivos y/o aparatos eléctricos tienen *disipadores de calor* conectados a partes del circuito eléctrico para impedir que dichas partes alcances temperaturas altamente peligrosas.

Potencia eléctrica

- Estos disipadores de calor consisten en piezas de metal con muchas aletas.

- La alta conductividad térmica del metal permite transferir la energía rápidamente, en forma de calor, lejos del componente caliente, mientras el gran número de aletas proporciona una gran área superficial en contacto con el aire, de tal manera que la energía se puede transferir rápidamente hacia el aire, en forma de calor, mediante radiación.

Potencia eléctrica

- Consideren ahora la velocidad a la cual el sistema pierde energía potencial eléctrica conforme la carga Q pasa a través de resistor:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt}(Q\Delta V) = \frac{dQ}{dt}\Delta V = I\Delta V$$

donde I es la corriente en el circuito.

- El sistema recupera esta energía potencial cuando la carga pasa a través de la batería, a expensas de la energía química en la batería.

Potencia eléctrica

- La velocidad a la cual el sistema pierde energía potencial conforme la carga pasa a través del resistor es igual a la velocidad a la cual el sistema gana energía interna en el resistor.

- Entonces, la potencia eléctrica $\mathcal{P}$, que representa la velocidad a la cual la energía es transferida hacia el resistor, es:

$$\mathcal{P} = I\Delta V$$

- Se ha obtenido este resultado considerando que una batería transfiere energía a un resistor.

Potencia eléctrica

- Sin embargo, dicha expresión ($\mathcal{P} = I\Delta V$) se puede utilizar para calcular la potencia suministrada, mediante una fuente de voltaje, hacia cualquier dispositivo o aparato que lleva un corriente eléctrica I y que tiene una diferencia de potencial ΔV entre sus terminales.

- Utilizando el hecho que para un resistor $\Delta V = RI$, se puede expresar la potencia proporcionada al resistor de diferentes formas:

$$\mathcal{P} = I\Delta V = I^2 R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

Potencia eléctrica

- Cuando I se expresa en amperes (A), ΔV en voltios (V), y R en ohmios (Ω), la unidad SI de la potencia eléctrica $\mathcal{P}$ es el vatio (W), igual que para la potencia mecánica.

- Esta expresión para la pérdida de potencia eléctrica puede recordarse fácilmente teniendo en cuenta las definiciones de diferencia de potencial ΔV y corriente eléctrica I.

- La caída de potencial es la disminución de energía potencial por unidad de carga y la corriente eléctrica es la carga que fluye por unidad de tiempo.

Potencia eléctrica

- Así, el producto ΔV por I es la energía perdida por unidad de tiempo; energía que a su vez provoca el calentamiento de un conductor

- El proceso mediante el cual la potencia eléctrica $\mathcal{P}$ es perdida como energía interna en un conductor de resistencia R (*i.e.* energía cedida a un conductor debido al paso de la corriente eléctrica) se conoce comúnmente como *calor por efecto Joule* o, simplemente, **calor de Joule**.

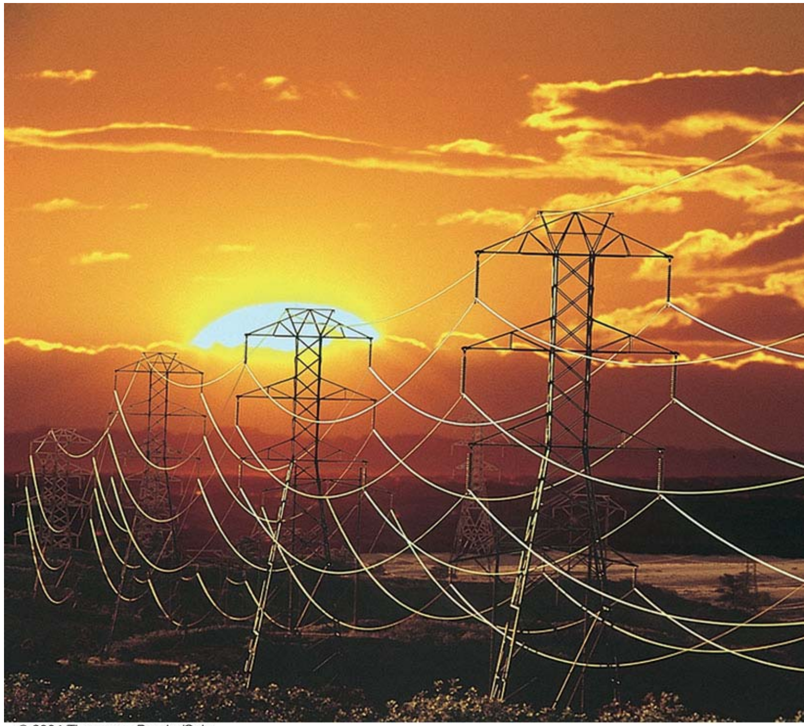
Transmisión de potencia eléctrica

- Cuando se transporta energía como electricidad a través de líneas o cables de alta tensión (*power lines*), no se puede simplificar la situación considerando que los cables tiene resistencia cero.
- La líneas de alta tensión en realidad sí tienen resistencia y, por lo tanto, se proporciona o transfiere una potencia eléctrica a dichos cables.
- Las compañías de luz buscan minimizar la potencia eléctrica que se transforma en energía interna dentro de las líneas de alta tensión con el objeto de maximizar la energía que se suministra a los consumidores.

Transmisión de potencia eléctrica

- Debido a que $\mathcal{P} = I\,\Delta V$, la misma cantidad de potencia eléctrica se puede transportar ya sea a altas corrientes eléctricas y bajas diferencia de potencial, o bien, a bajas corrientes eléctricas y altas diferencias de potencial.

- Las compañías de luz eligen transportar la energía a bajas corrientes eléctricas y altas diferencias de potencial debido principalmente a razones económicas.



Transmisión de potencia eléctrica

- El alambre de cobre es muy caro, por lo cual resulta más barato utilizar alambre o cables de alta resistencia (es decir, alambre con una sección transversal de área pequeña $R = \rho l/A$)

- De esta manera, en la expresión para la potencia transferida a un resistor, $\mathcal{P} = I^2R$, la resistencia del alambre o cable está fija a un valor relativamente alto

- La pérdida de potencia o calor de Joule (I^2R) se puede reducir manteniendo la corriente I tan bajo como sea posible, lo cual significa transportar la energía a alto voltaje ($\mathcal{P} = I\Delta V$)

Transmisión de potencia eléctrica

- En algunos casos, la potencia eléctrica se transporta a diferencia de potencial tan grandes como 765 kV.
- Una vez la electricidad llega a las ciudades, la diferencia de potencial usualmente se reduce a 4 kV en un dispositivo conocido como *transformador*.
- Finalmente, otro transformador baja la diferencia de potencial a 240 V ó 120 V (según el continente en el que uno viva) y así la electricidad llega a las casas.

Transmisión de potencia eléctrica

- Evidentemente, cada vez que la diferencia de potencial disminuye, la corriente eléctrica aumenta por el mismo factor y de esa manera la potencia eléctrica permanece constante ($\mathcal{P} = I\Delta V$).

Aclaraciones importantes

- Existen varios errores comunes asociados con la corriente eléctrica en un circuito.

- Uno de ellos es el hecho de que la corriente eléctrica sale de una de las terminales de la batería y se acaba al momento de pasar a través de, por ejemplo, un resistor, dejando corriente eléctrica sólo en una parte del circuito.

- La verdad es que la corriente eléctrica es la misma *en todo* el circuito.

Aclaraciones importantes

- Un error relacionado es el hecho de considerar que la corriente que sale de un resistor es menor que la que entra en dicho resistor, pues parte de la corriente se ha "utilizado".

- Otro error es considerar que la corriente sale de ambas terminales de la batería, con direcciones opuestas, y entonces "choca" en un resistor, liberando energía de esta manera. Esto no es verdad, pues las cargas fluyen en el mismo sentido en *todos* los puntos dentro de un circuito.

Aclaraciones importantes

- Las cargas no se desplazan a través de un circuito eléctrico en poco tiempo.

- Debido a la pequeña magnitud de la velocidad de desplazamiento, le tomaría horas a un solo electrón el completar un ciclo a través de todo un circuito eléctrico.

- Sin embargo, para entender la transferencia de energía en un circuito, es útil el *imaginar* una carga moviéndose a través de todo un circuito eléctrico.

Aclaraciones importantes

- La energía no se “disipa”.
- En algunos libros se describe a la ecuación

$$\mathcal{P} = I\Delta V = I^2 R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

  como la potencia eléctrica “disipada en” un resistor, lo cual sugiere que la energía desaparece.
- La idea de *disipación* surge debido a que un resistor caliente liberará energía mediante radiación y calor, de tal manera que la energía proporcionada por la batería sale del circuito (¡no desaparece!)

Preguntas

- La misma diferencia de potencial se aplica a dos focos (ver figura). ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera?

  (a) El foco de 30 W lleva la mayor *I* y tiene la mayor *R*.

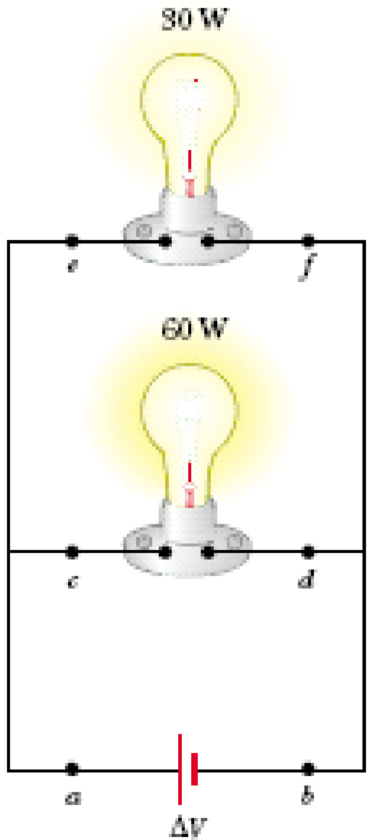
  (b) El foco de 30 W lleva la mayor *I*, pero el foco de 60 W tiene la mayor *R*.

  (c) El foco de 30 W tiene la mayor *R*, pero el foco de 60 W lleva la mayor *I*.

  (d) El foco de 60 W lleva la mayor *I* y tiene la mayor *R*.

Preguntas

- Para los dos focos que se muestran en la siguiente figura, ordene , de mayor a menor, los valores de la corriente eléctrica *I* en los puntos $a \rightarrow f$.



Problemas

- **Potencia en un calentador eléctrico**.

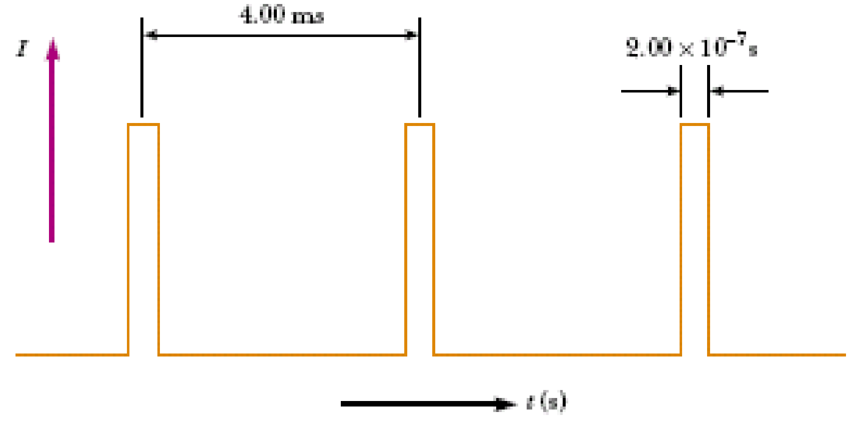
  Un calentador eléctrico se puede construir aplicando una diferencia de potencial de 120 V a un alambre de Nichrome que tiene una resistencia total de 8.00 Ω. Calcule la corriente eléctrica en el alambre y la potencia eléctrica (clasificación) del calentador.

  ¿Qué pasaría con la corriente y potencia eléctrica si se conecta el calentador a un enchufe de 240 V?

Problemas

- **Corriente en un haz de electrones.**

  En un cierto acelerador de partículas, los electrones salen con una energía de 40 MeV (1 MeV = 1.60 x 10^{-13} J). Los electrones no salen como una corriente continua sino más bien como pulsos a una velocidad de 250 pulsos/s. esto corresponde a un intervalo de tiempo entre pulsos de 4.00 ms (ver figura). Cada pulso tiene una duración de 200 ns, y los electrones en el pulsos constituyen una corriente eléctrica de 250 mA. La corriente eléctrica entre los pulsos es cero.



Problemas

(A) ¿Cuántos electrones emite el acelerador de partículas por pulso?

(B) ¿Cuál es la corriente eléctrica promedio por pulso que emite el acelerado de partículas?

(C) ¿Cuál es la potencia eléctrica máxima que proporciona el haz de electrones?

(D) ¿Cuál es la potencia eléctrica promedio que proporciona el haz de electrones?