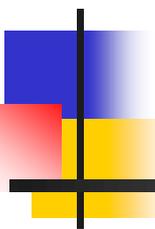


Presentación basada en el material contenido en:
Serway, R. Physics for Scientists and Engineers.
Saunders College Pub. 3rd edition.



Física II.

Potencial Electrostático



Energía Potencial Eléctrica

- Cuando una carga de prueba se coloca en un campo eléctrico, ésta experimenta una fuerza que está dada por $\mathbf{F} = q_0 \mathbf{E}$
- La fuerza es central; es además conservativa
- Sea $d\mathbf{s}$ es un vector de desplazamiento infinitesimal, que está orientado de forma que es tangente a la trayectoria en el espacio



Cont...

- El trabajo hecho por el campo eléctrico está dado por:

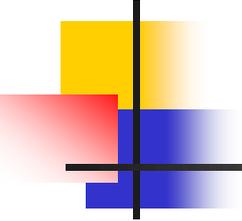
$$\mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = q_o \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

- Como este trabajo es hecho por el campo sobre la carga, la energía potencial del sistema carga-campo cambia por

$$\Delta U = -q_o \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

- Así, para un desplazamiento finito de la carga desde un punto A y hasta un punto B,

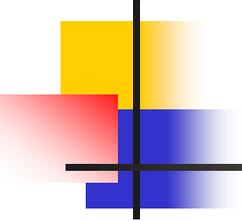
$$\Delta U = U_B - U_A = -q_o \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

- 
-
- Como $q_0 \mathbf{E}$ es conservativa, la integral de línea no depende de la trayectoria que tome la carga en este cambio desde A hasta B
 - Este es el cambio de energía potencial del sistema

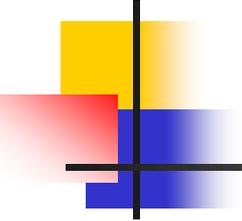


Potencial eléctrico

- La energía potencial por unidad de carga, U/q_0 , es el potencial eléctrico
- El valor del potencial es independiente del valor de q_0
 - El potencial tiene un valor en cada uno de los puntos de una región en la que existe un potencial eléctrico
- El potencial eléctrico es $V = \frac{U}{q_0}$

- 
-
- El potencial eléctrico es una cantidad escalar
 - Ya que la energía es un escalar
 - Cuando una partícula cargada se mueve en un campo eléctrico, ésta experimenta un cambio en su potencial eléctrico

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_o} = -\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

- 
-
- La cantidad que es verdaderamente significativa es el cambio o la diferencia en el valor del potencial eléctrico
 - Es frecuente (y necesario) tomar un valor de referencia y ahí definir un valor de cero para el valor del potencial eléctrico. Este valor se toma en función del campo eléctrico que experimenta la partícula en el espacio.
 - El potencial eléctrico es una característica escalar de un campo eléctrico, independientemente de cualquiera otra carga que pueda ser colocada en esa región del espacio donde existe el campo eléctrico



trabajo y potencial eléctrico

- Supongamos que una carga se mueve en una región donde existe un campo eléctrico, con la condición de que no cambie su energía cinética.
- El valor del trabajo realizado sobre la carga es

$$W = \Delta V = q \Delta V$$



Unidades

- $1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$
 - V es un volt
 - Se realiza un joule de trabajo para mover una carga de 1 coulomb a través de una diferencia de potencial de un volt
- Adicionalmente, $1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$
 - Esto indica que podemos interpretar al campo eléctrico como una medida de la razón de cambio del potencial eléctrico con la posición



Electrones-Volt

- Otra unidad de energía que se usa comúnmente en física atómica y nuclear es el llamado electrón-volt
- Un electrón-volt se define como la energía que un sistema de carga-partícula gana o pierde cuando una carga de magnitud e (un electrón o un protón) se mueven en una región donde la diferencia de potencial es de 1 volt
 - $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$



Diferencia de potencial en un campo uniforme

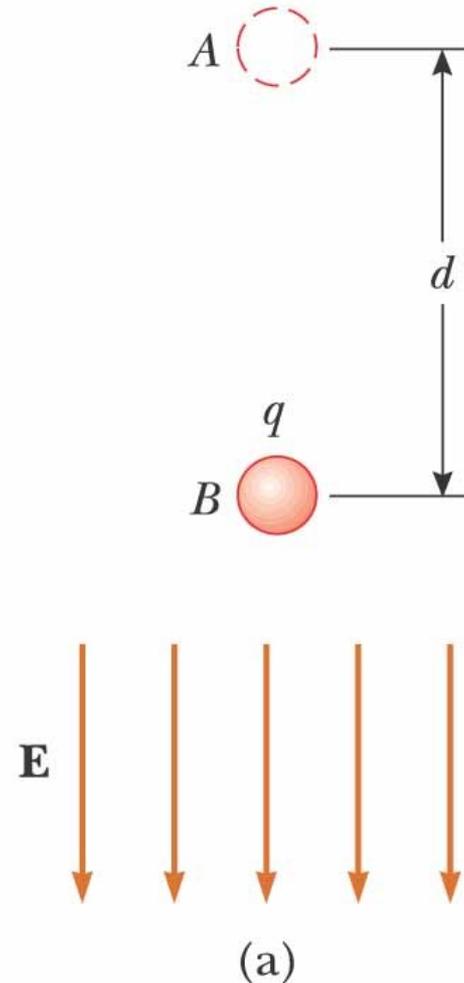
- Las ecuaciones para el potencial eléctrico pueden simplificarse si el campo eléctrico es uniforme:

$$V_B - V_A = \Delta V = -\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -E \int_A^B ds = -Ed$$

- El signo negativo indica que el potencial eléctrico en el punto B es más bajo (menor) que en el punto A

La energía y la dirección del campo eléctrico

- Cuando el campo eléctrico está dirigido hacia abajo, el punto B está a menor potencial que el punto A
- Cuando una carga de prueba positiva se mueve de A hacia B, el sistema carga-campo pierde energía potencial.



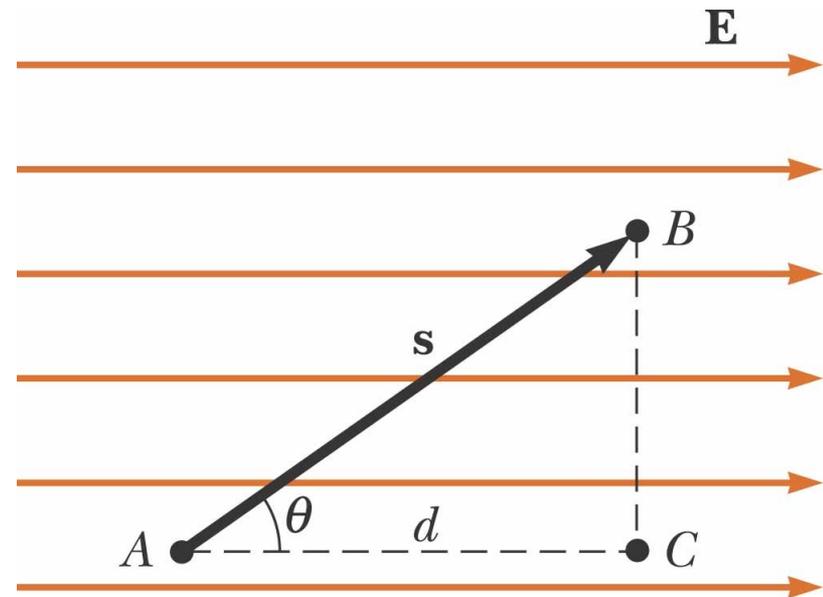


Más sobre la energía y la dirección del E

- Un sistema que consiste de una carga positiva en un campo eléctrico **pierde** energía potencial cuando la carga se mueve en la dirección del campo eléctrico
 - Un campo eléctrico realiza trabajo sobre una carga positiva cuando la carga se mueve en la dirección del campo eléctrico
- Una partícula cargada gana una energía cinética que es igual a la energía potencial perdida por el sistema carga-campo
 - Ecuación para la conservación de la energía en un sistema en el que existe un potencial eléctrico

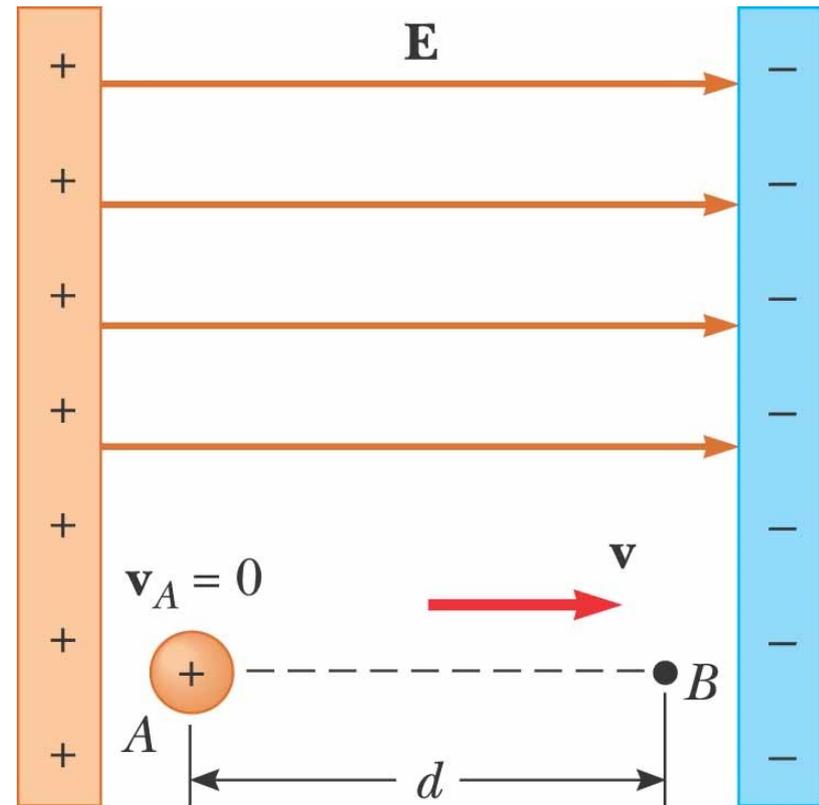
Equipotenciales

- El punto B está a potencial menor que el punto A
- Los puntos A y C están en igual valor de potencial
- Se da el nombre de **superficie equipotencial** a cualquiera superficie que consiste de una distribución continua de puntos que tienen el mismo valor de potencial eléctrico



Partículas cargadas en una región de campo uniforme

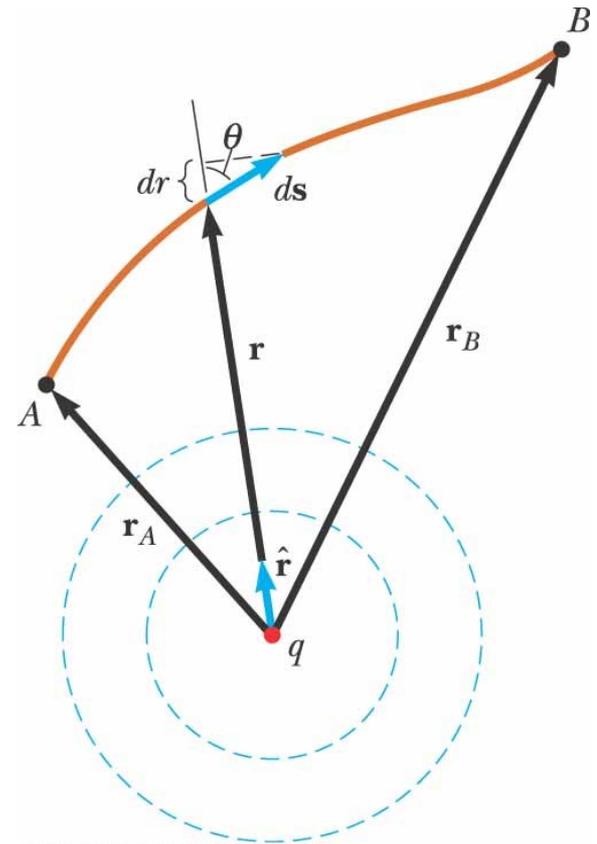
- Una partícula positiva que es liberada desde el reposo y se mueve en la dirección del campo eléctrico
- El cambio de potencial es negativo
- El cambio de energía potencial es negativo
- La fuerza y la aceleración están en la dirección del campo

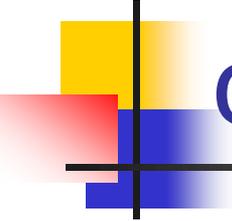


Potencial y cargas puntuales

- Una carga positiva puntual produce un campo dirigido radialmente hacia afuera
- La diferencia de potencial entre los puntos A y B será

$$V_B - V_A = k_e q \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right]$$





cont.

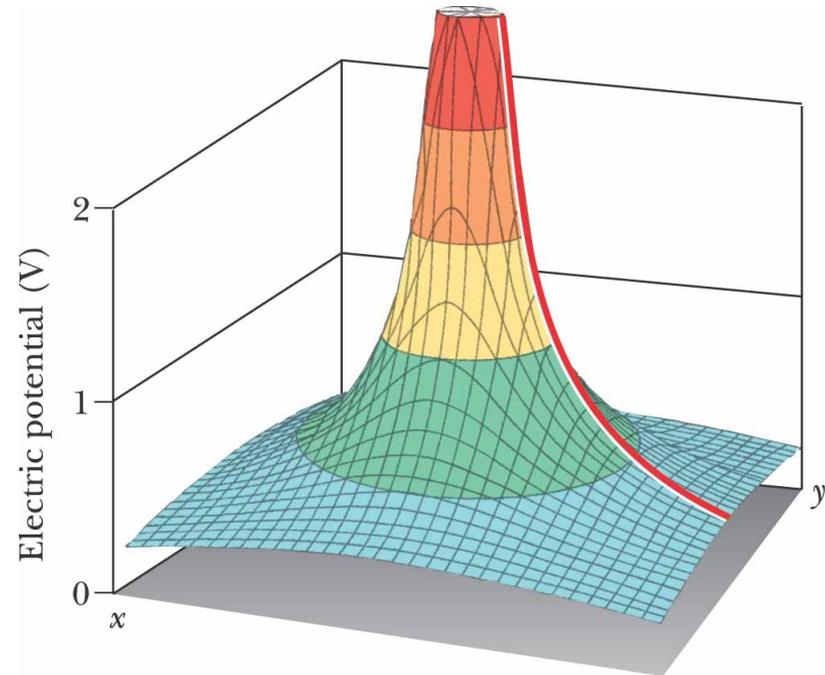
- El potencial eléctrico es independiente del camino entre los puntos A y B
- Se elige un potencial de referencia de $V = 0$ en $r_A = \infty$
- Entonces el potencial en algún punto r

sera

$$V = k_e \frac{q}{r}$$

Potencial eléctrico de una carga puntual

- En la figura se muestra el potencial eléctrico en el plano alrededor de una carga puntual simple.
- La línea roja muestra la dependencia de $1/r$ del potencial



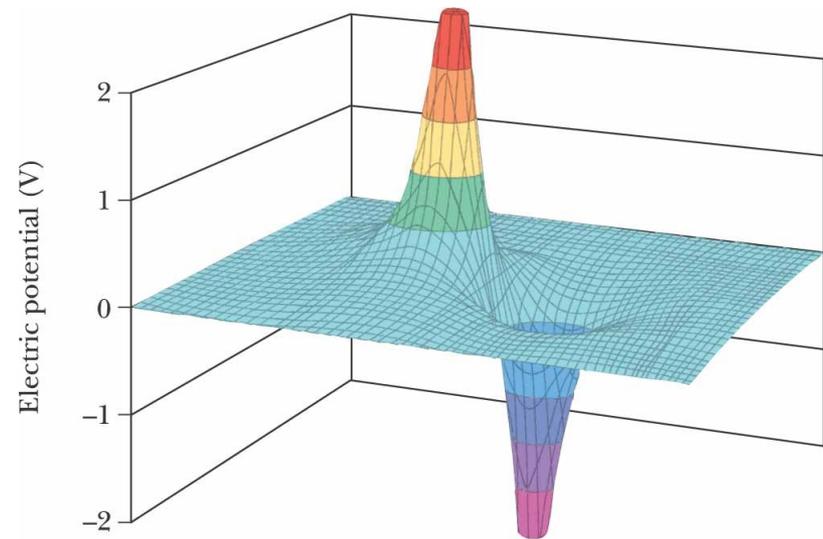


Potencial eléctrico para un conjunto de cargas

- El potencial eléctrico de varias cargas puntuales es la suma de los potenciales debidos a cada una de las cargas individualmente
 - Es un ejemplo mas del principio de superposición
 - La suma es algebraica $V = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i}$
 - $V = 0$ at $r = \infty$

El potencial eléctrico de un dipolo

- Las gráficas muestran la variación del potencial eléctrico de un dipolo (eje y)
- La pronunciada pendiente entre las cargas representa la existencia de un campo eléctrico muy intenso entre ellas

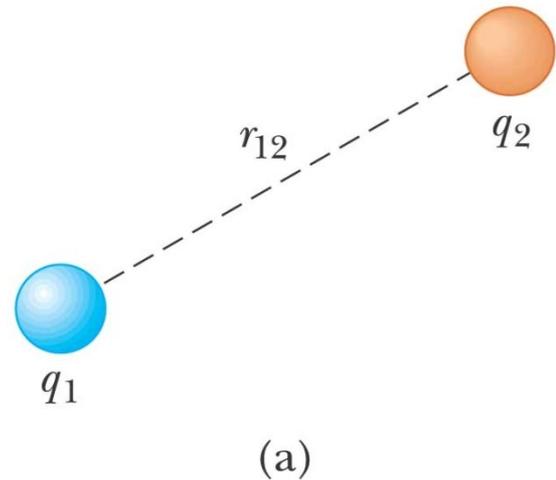


©2004 Thomson - Brooks/Cole

Energía potencial de un conjunto de cargas

- Considerar dos partículas cargadas
- La energía potencial del sistemas es

$$U = k_e \frac{q_1 q_2}{r_{12}}$$





Además...

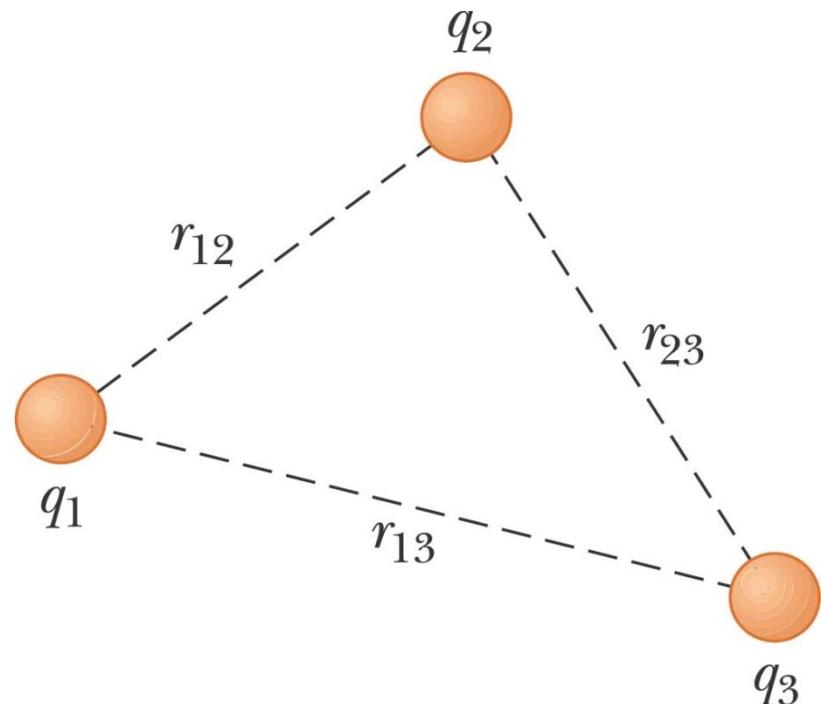
- Si las dos cargas tienen el mismo signo U es positiva y se debe hacer un trabajo (del exterior) para mantenerlas juntas
- Si las cargas tienen signos distintos U es negativa y el trabajo que se realiza es para mantenerlas apartadas

U para un conjunto de cargas, final

- Si existen más de dos cargas, entonces U puede calcularse como la suma de la interacción de los pares. Para el caso de tres cargas

$$U = k_e \left(\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}} \right)$$

- El resultado es independiente del orden de las cargas





Cálculo de **E** a partir de **V**

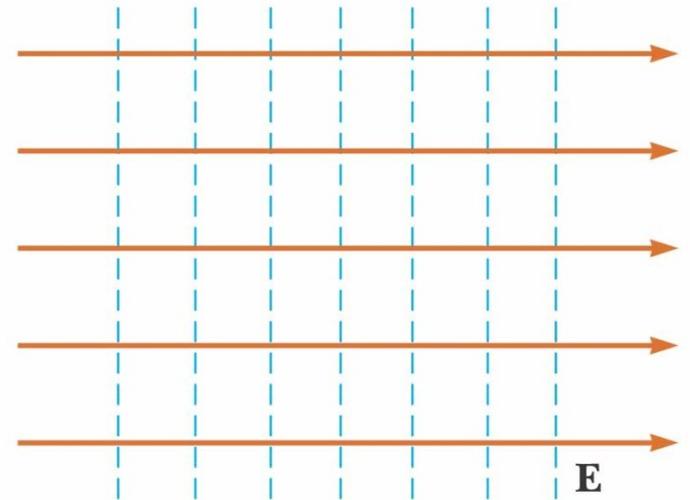
- Suponga, para comenzar, que **E** tiene solo componente en la dirección *x*

$$E_x = -\frac{dV}{dx}$$

- De igual manera se puede tratar el caso de las componentes *y* y *z* .
- Las superficies equipotenciales deben ser siempre perpendiculares a las líneas de campo eléctrico que pasan a través de ellas.

E y V para una placa infinita cargada

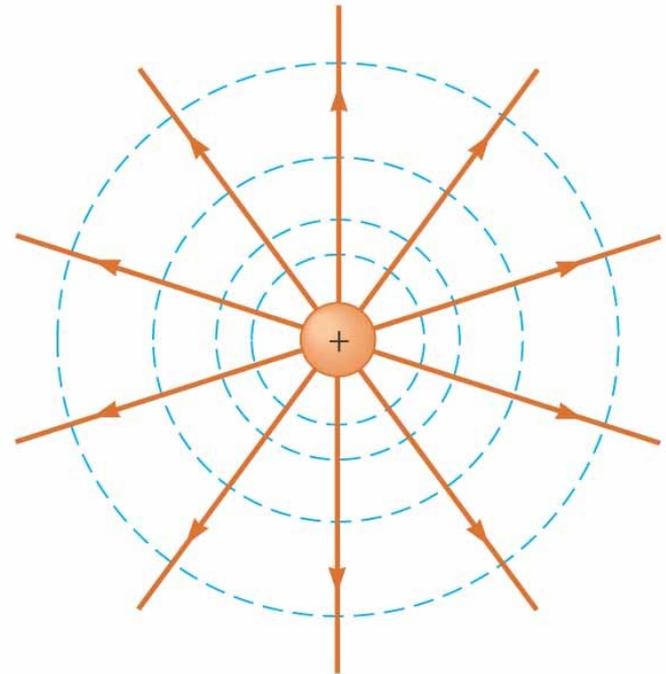
- Las líneas azules corresponden con equipotenciales
- Las líneas de campo eléctrico son las cafés
- Las líneas equipotenciales son siempre perpendiculares a las líneas de campo



(a)

E y V para una carga puntual

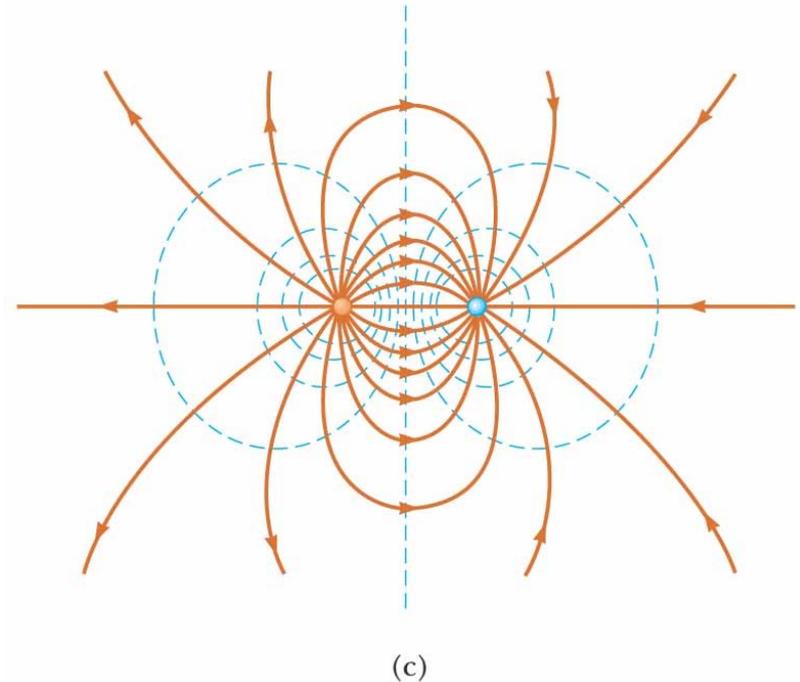
- Las líneas equipotenciales son las líneas azules discontinuas
- El campo eléctrico se señala por las líneas rojas
- En todo punto las equipotenciales son perpendiculares a las líneas de campo.



(b)

E y V para un dipolo

- En azul van las equipotenciales
- El campo eléctrico va en rojo
- Las líneas equipotenciales son perpendiculares a las líneas de campo en cualquiera punto





Campo Eléctrico a partir del Potential, General

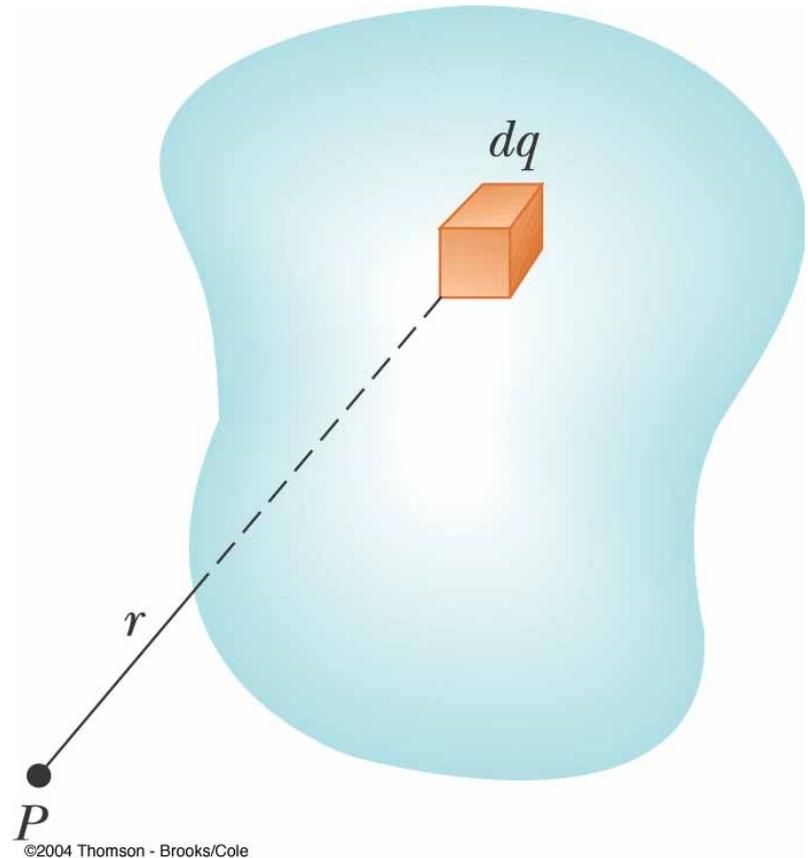
- En general, el potencial eléctrico es una función de las coordenadas que definen la posición de una partícula.
- Dado $V(x, y, z)$ usted puede encontrar E_x , E_y y E_z a partir de las derivadas parciales

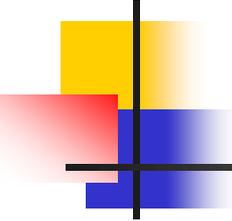
$$E_x = -\frac{\partial V}{\partial x} \quad E_y = -\frac{\partial V}{\partial y} \quad E_z = -\frac{\partial V}{\partial z}$$

Potencial Eléctrico para una distribución continua de carga

- Considerar un elemento de carga pequeño dq
 - Trátela como una carga puntual
- El potencial en algún punto debido a este elemento de carga es

$$dV = k_e \frac{dq}{r}$$





V Para una distribución continua de carga, cont.

- Para encontrar el potencial total, necesitamos integrar para poder incluir las contribuciones de todos los elementos

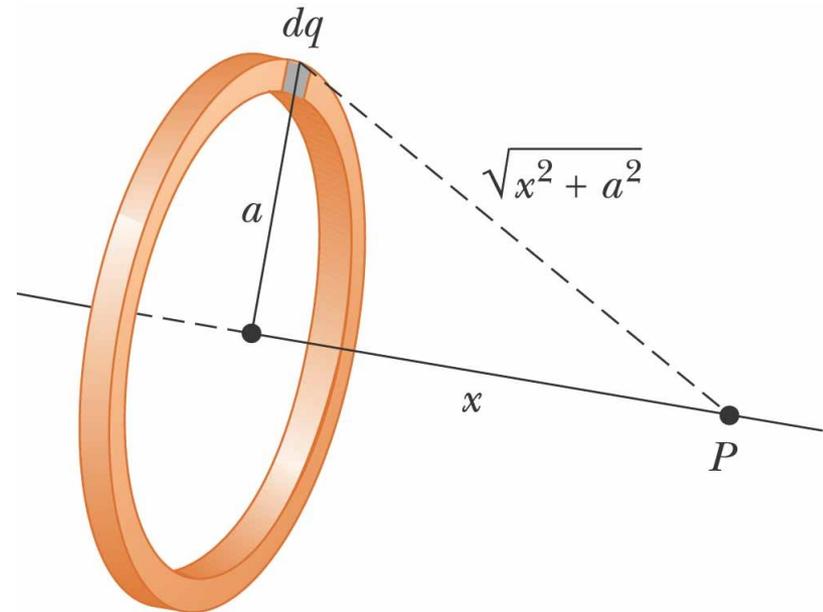
$$V = k_e \int \frac{dq}{r}$$

- Este valor de V utiliza la referencia de $V = 0$ cuando P está infinitamente lejos de las distribuciones de carga

V para un anillo uniformemente cargado

- P esta sobre el eje del anillo, perpendicularmente sobre el plano del anillo
 - El anillo tiene una carga total Q y un radio a

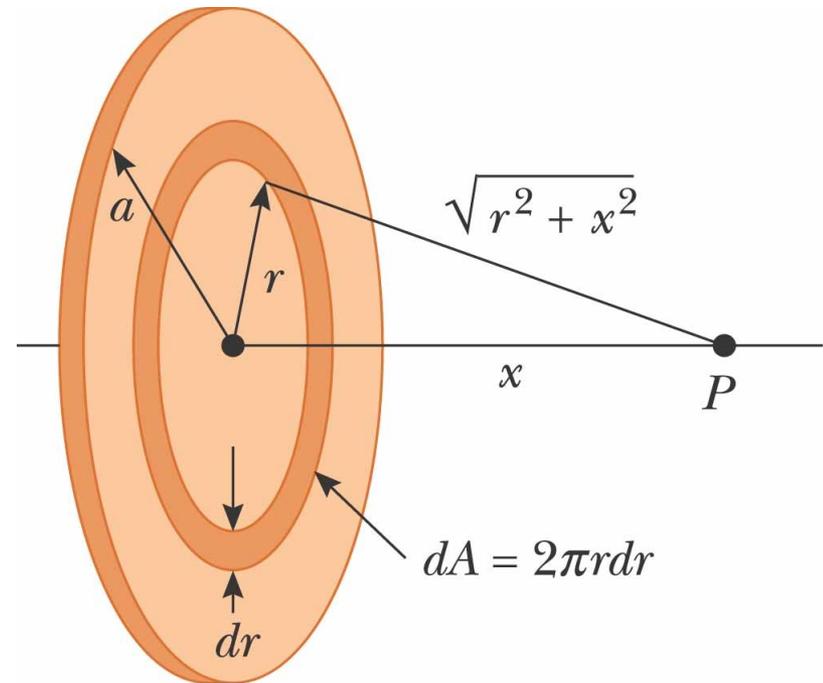
$$V = k_e \int \frac{dq}{r} = \frac{k_e Q}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$



V para un anillo uniformemente cargado

- El anillo tiene un radio a y una densidad superficial de carga σ

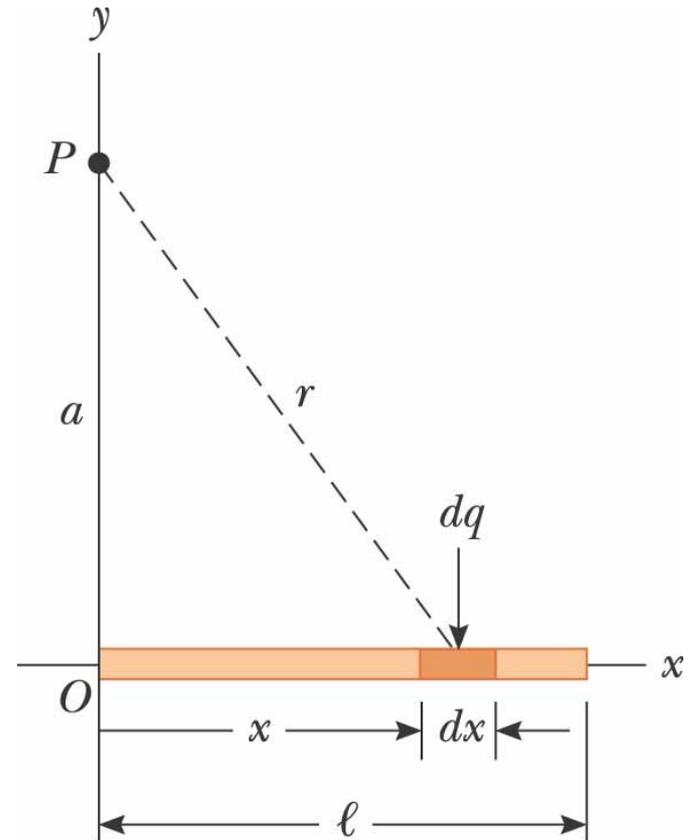
$$V = 2\pi k_e \sigma \left[\left(x^2 + a^2 \right)^{1/2} - x \right]$$



V para un hilo infinito de carga

- Un hilo de longitud ℓ tiene una carga total Q y una densidad lineal de carga λ

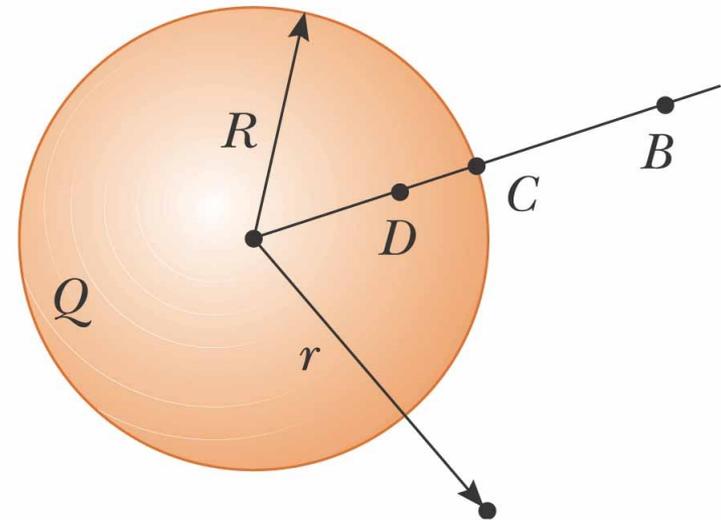
$$V = \frac{k_e Q}{\ell} \ln \left(\frac{\ell}{a} \right)$$



V para una esfera uniformemente cargada

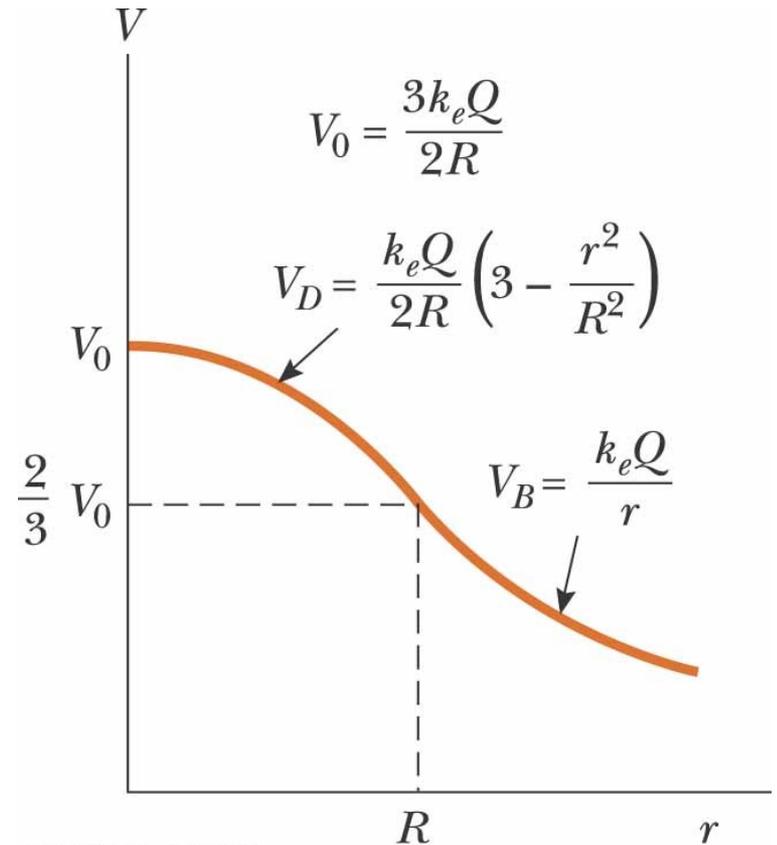
- Una esfera de radio R y una carga total Q
- Para $r > R$, $V = k_e \frac{Q}{r}$
- Para $r < R$,

$$V_D - V_C = \frac{k_e Q}{2R^3} (R^2 - r^2)$$



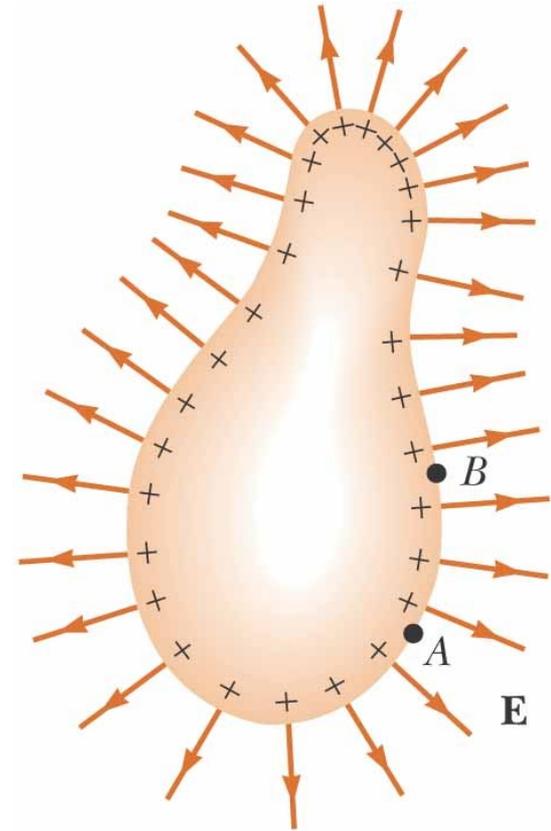
V para una esfera uniformemente cargada, la gráfica

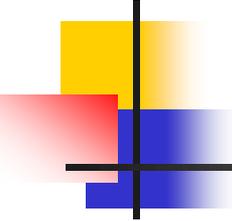
- La curva para V_D es para el potencial dentro de la esfera
 - Es parabólica
 - Se une suavemente con la curva para V_B
- La curva para V_B es para el potencial fuera de la esfera
 - Es una hipérbola



Potencial V debido a un conductor cargado

- Considere dos puntos sobre la superficie de un conductor cargado, como se muestra
- \mathbf{E} siempre es perpendicular al desplazamiento $d\mathbf{s}$
- Por lo que $\mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = 0$
- Por lo tanto, la diferencia de potencial entre A y B es también cero



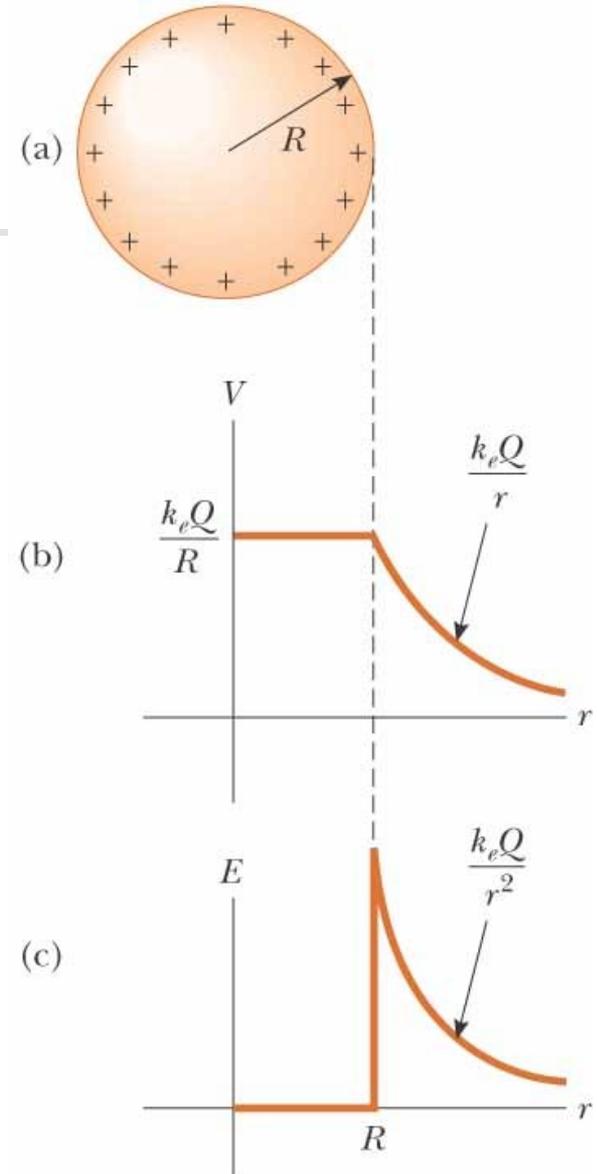


Potencial V debido a un conductor cargado, cont.

- V es constante en todos los puntos sobre la superficie de un conductor cargado en equilibrio electrostático
 - $\Delta V = 0$ entre cualquiera dos puntos sobre la superficie
 - La superficie de cualquiera conductor cargado en equilibrio electrostático es una superficie equipotencial
- Debido a que el campo eléctrico es cero dentro del conductor, se concluye que el potencial eléctrico es constante en todos los puntos y que es igual al valor en la superficie

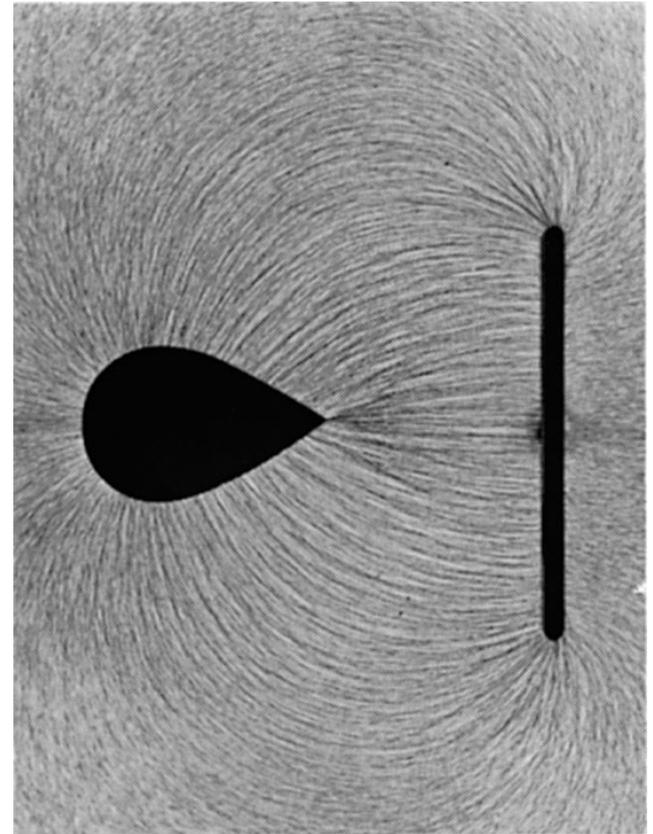
Comparando E y V

- El potencial eléctrico es una función que depende de r
- El campo eléctrico es una función que depende de r^2
- El efecto de una carga sobre la superficie que las rodea :
 - La carga establece un vector campo eléctrico que está relacionado con la fuerza
 - La carga establece un potencial escalar que está relacionado con la energía



Objetos de forma irregular

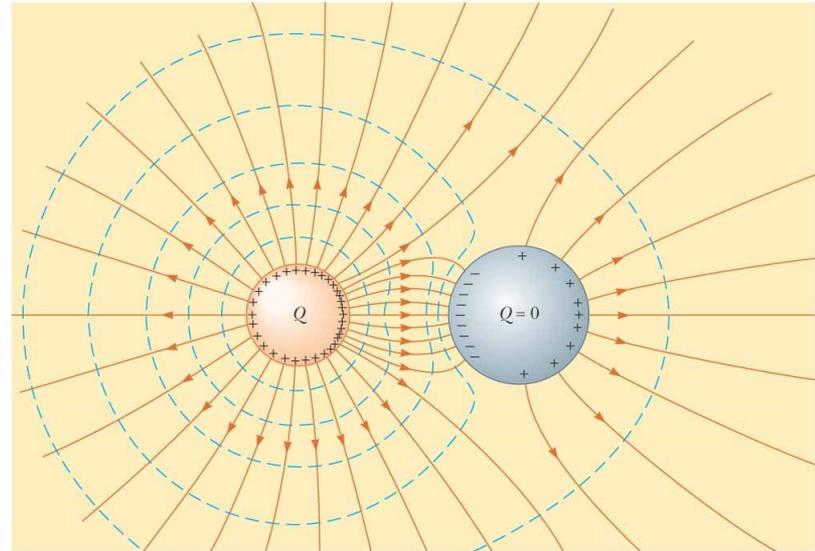
- La densidad de carga en aquellos puntos en los que el radio de curvatura es pequeño
 - Y baja densidad de carga donde los radios de curvatura son grandes
- El campo eléctrico es grande cerca de los puntos de convexidad que tienen un radio pequeño de curvatura y alcanza valores muy altos en puntos donde hay puntas



© 2004 Thomson - Brooks/Cole

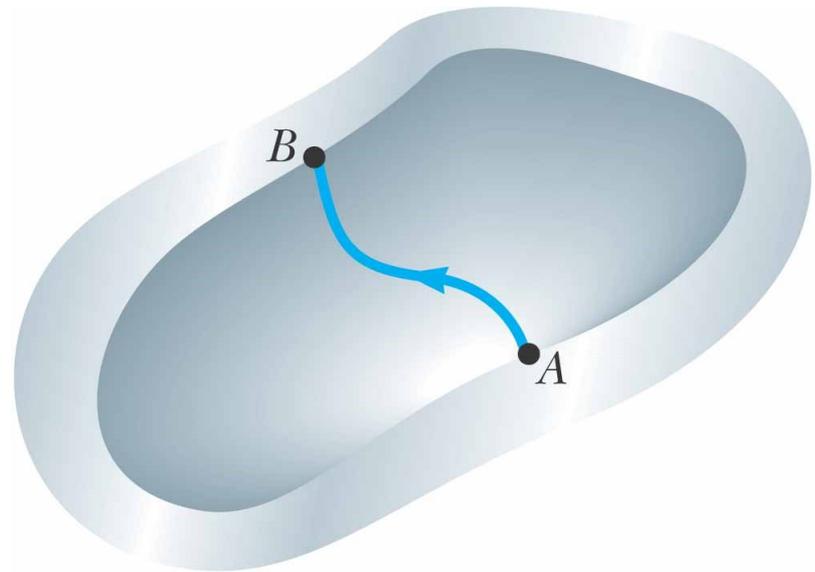
Objetos de forma irregular, cont.

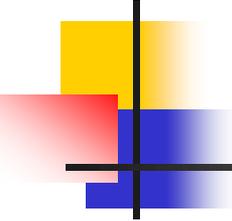
- The field lines are still perpendicular to the conducting surface at all points
- The equipotential surfaces are perpendicular to the field lines everywhere



Cavity in a Conductor

- Assume an irregularly shaped cavity is inside a conductor
- Assume no charges are inside the cavity
- The electric field inside the conductor must be zero



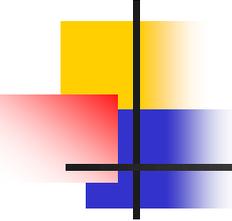


Cavity in a Conductor, cont

- The electric field inside does not depend on the charge distribution on the outside surface of the conductor
- For all paths between A and B ,

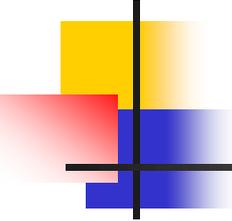
$$V_B - V_A = -\int_A^B \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = 0$$

- A cavity surrounded by conducting walls is a field-free region as long as no charges are inside the cavity



Corona Discharge

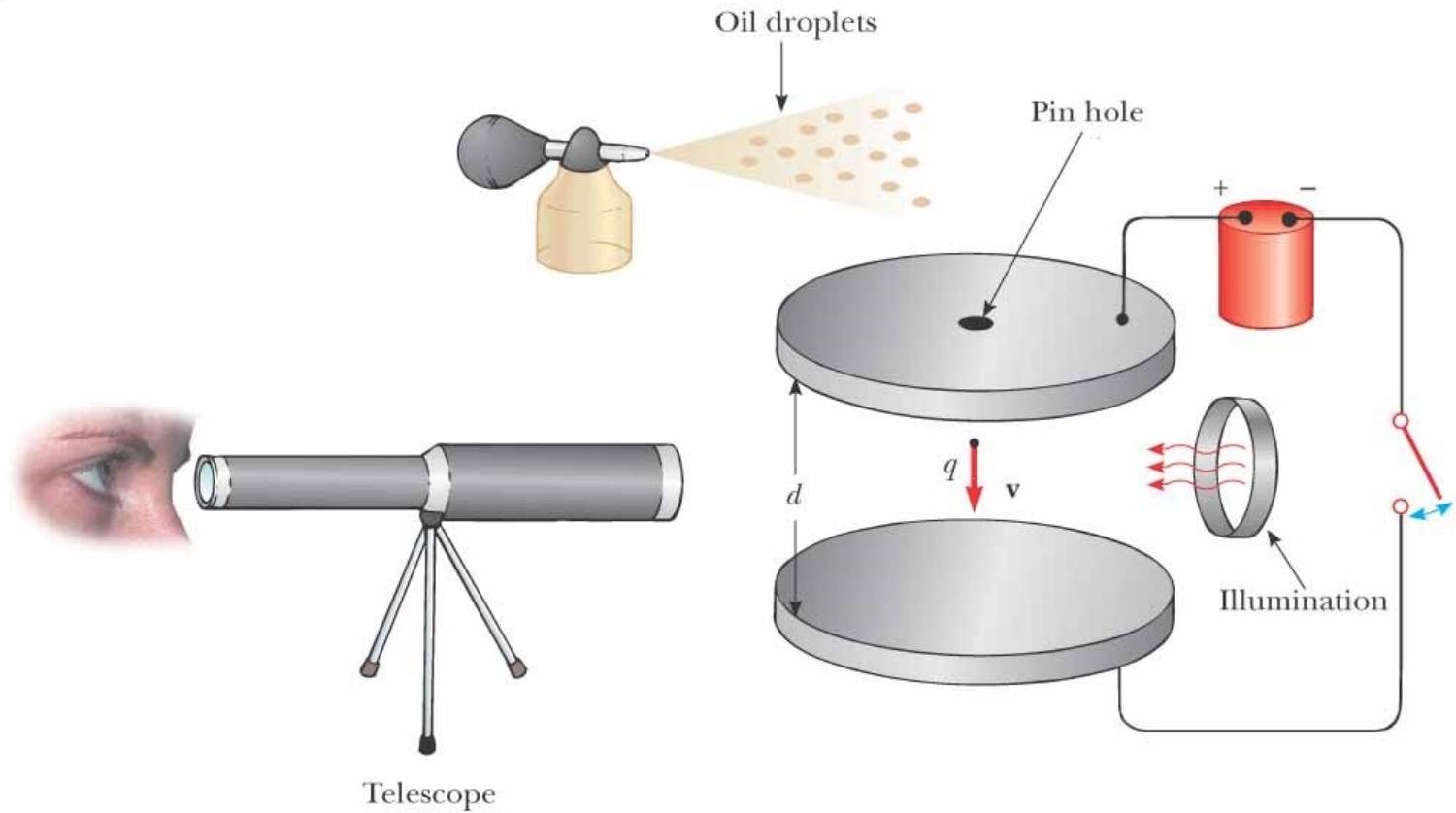
- If the electric field near a conductor is sufficiently strong, electrons resulting from random ionizations of air molecules near the conductor accelerate away from their parent molecules
- These electrons can ionize additional molecules near the conductor

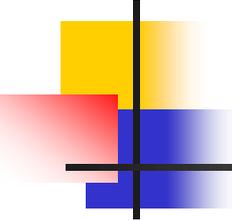


Corona Discharge, cont.

- This creates more free electrons
- The **corona discharge** is the glow that results from the recombination of these free electrons with the ionized air molecules
- The ionization and corona discharge are most likely to occur near very sharp points

Millikan Oil-Drop Experiment – Experimental Set-Up



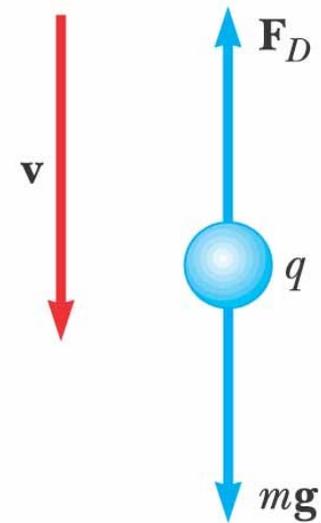


Millikan Oil-Drop Experiment

- Robert Millikan measured e , the magnitude of the elementary charge on the electron
- He also demonstrated the quantized nature of this charge
- Oil droplets pass through a small hole and are illuminated by a light

Oil-Drop Experiment, 2

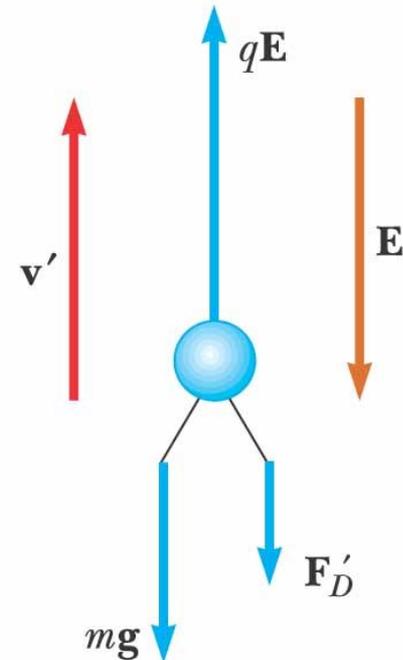
- With no electric field between the plates, the gravitational force and the drag force (viscous) act on the electron
- The drop reaches terminal velocity with $\mathbf{F}_D = m\mathbf{g}$



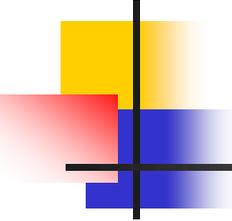
(a) Field off

Oil-Drop Experiment, 3

- When an electric field is set up between the plates
 - The upper plate has a higher potential
- The drop reaches a new terminal velocity when the electrical force equals the sum of the drag force and gravity



(b) Field on

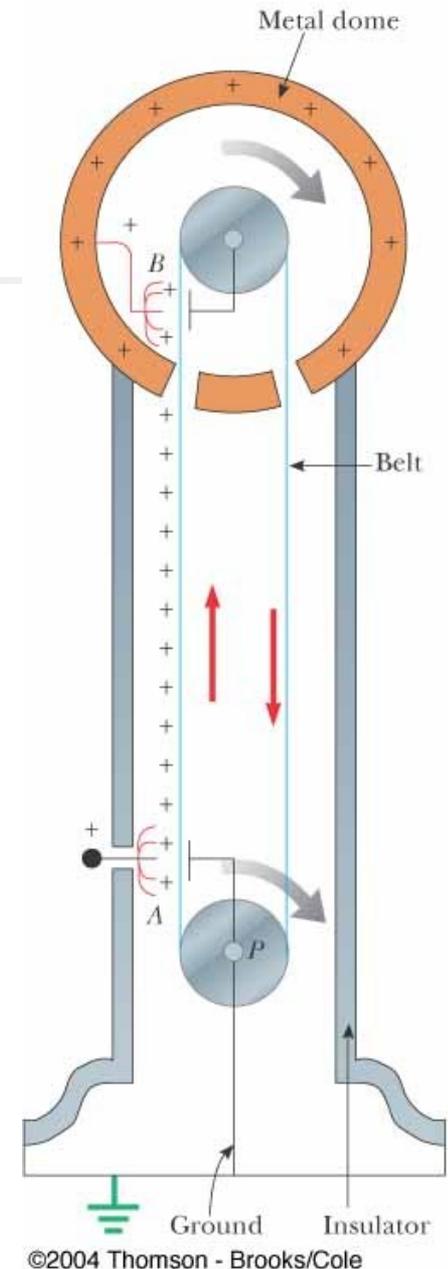


Oil-Drop Experiment, final

- The drop can be raised and allowed to fall numerous times by turning the electric field on and off
- After many experiments, Millikan determined:
 - $q = ne$ where $n = 1, 2, 3, \dots$
 - $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$

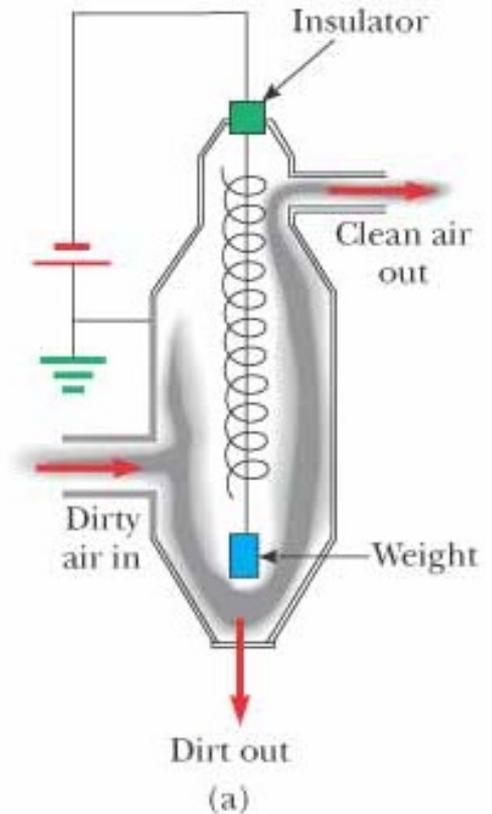
Van de Graaff Generator

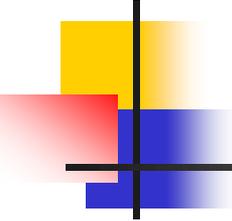
- Charge is delivered continuously to a high-potential electrode by means of a moving belt of insulating material
- The high-voltage electrode is a hollow metal dome mounted on an insulated column
- Large potentials can be developed by repeated trips of the belt
- Protons accelerated through such large potentials receive enough energy to initiate nuclear reactions



Electrostatic Precipitator

- An application of electrical discharge in gases is the electrostatic precipitator
- It removes particulate matter from combustible gases
- The air to be cleaned enters the duct and moves near the wire
- As the electrons and negative ions created by the discharge are accelerated toward the outer wall by the electric field, the dirt particles become charged
- Most of the dirt particles are negatively charged and are drawn to the walls by the electric field

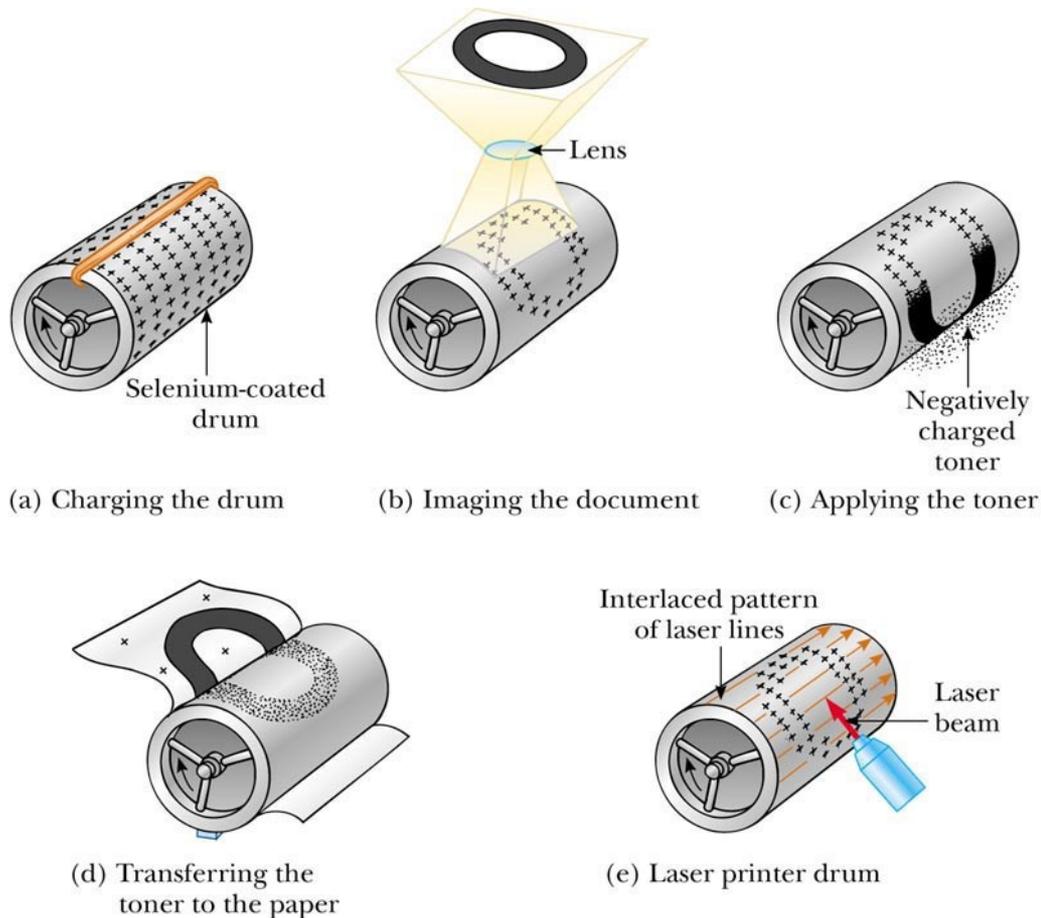


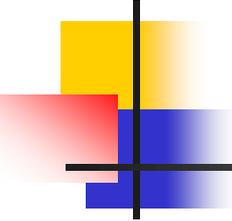


Application – Xerographic Copiers

- The process of xerography is used for making photocopies
- Uses photoconductive materials
 - A photoconductive material is a poor conductor of electricity in the dark but becomes a good electric conductor when exposed to light

The Xerographic Process





Application – Laser Printer

- The steps for producing a document on a laser printer is similar to the steps in the xerographic process
 - Steps a, c, and d are the same
 - The major difference is the way the image forms on the selenium-coated drum
 - A rotating mirror inside the printer causes the beam of the laser to sweep across the selenium-coated drum
 - The electrical signals form the desired letter in positive charges on the selenium-coated drum
 - Toner is applied and the process continues as in the xerographic process

Potentials Due to Various Charge Distributions

Table 25.1

Electric Potential Due to Various Charge Distributions		
Charge Distribution	Electric Potential	Location
Uniformly charged ring of radius a	$V = k_e \frac{Q}{\sqrt{x^2 + a^2}}$	Along perpendicular central axis of ring, distance x from ring center
Uniformly charged disk of radius a	$V = 2\pi k_e \sigma [(x^2 + a^2)^{1/2} - x]$	Along perpendicular central axis of disk, distance x from disk center
Uniformly charged, <i>insulating</i> solid sphere of radius R and total charge Q	$\left\{ \begin{array}{l} V = k_e \frac{Q}{r} \\ V = \frac{k_e Q}{2R} \left(3 - \frac{r^2}{R^2} \right) \end{array} \right.$	$r \geq R$ $r < R$
Isolated <i>conducting</i> sphere of radius R and total charge Q	$\left\{ \begin{array}{l} V = k_e \frac{Q}{r} \\ V = k_e \frac{Q}{R} \end{array} \right.$	$r > R$ $r \leq R$