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

Recordamos que:

- La carga eléctrica siempre se conserva en un sistema eléctricamente aislado.
- La carga eléctrica está cuantizada
- El proceso de adquisición de carga debe entenderse como el de transferencia de carga de un cuerpo a otro

matter–antimatter annihilation:

$$[\text{electron}] + [\text{antielectron}] \rightarrow 2[\text{photons}]$$

$$\textit{charges}: \quad -e \quad + \quad e \quad \rightarrow \quad 0$$

at lead plate:

$$\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2[\text{electrons}]$$

$$\textit{charges}: \quad 0 + (-2e) \rightarrow 0 + (-2e)$$

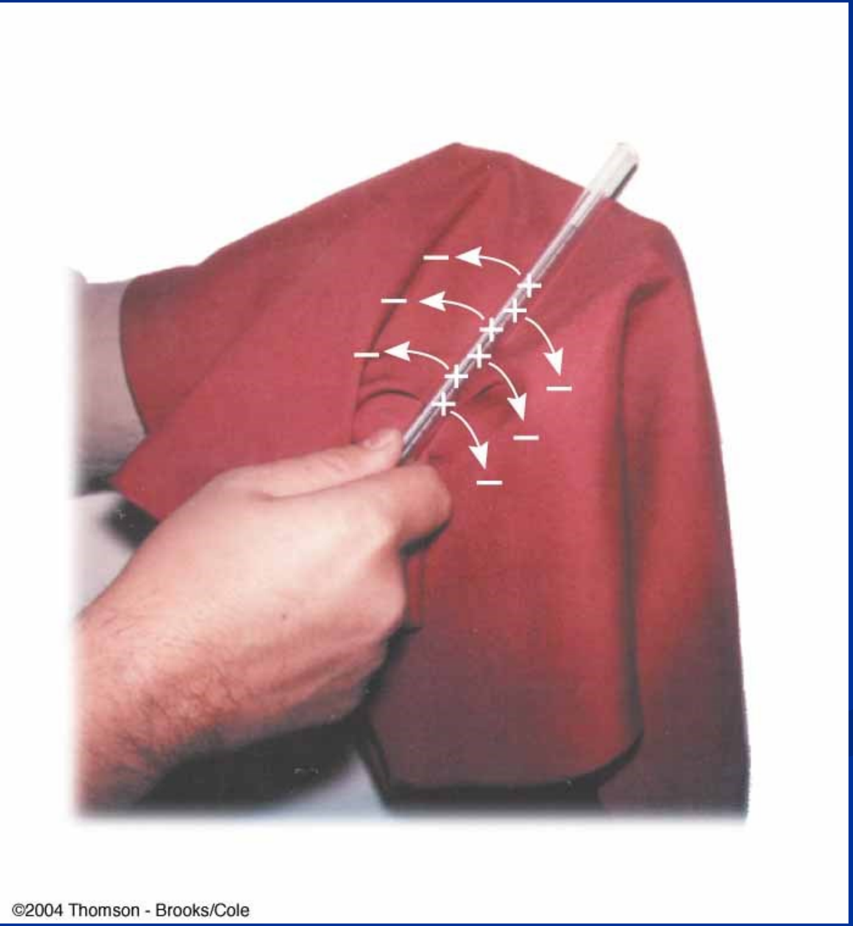
at lead dioxide plate:

$$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2[\text{electrons}] \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$$

$$\textit{charges}: \quad 0 + 4e + (-2e) + (-2e) \rightarrow 0 + 0$$

Sobre la conservación de la carga

- Una barra de vidrio se frota contra seda
- Los electrones se transfieren del vidrio a la seda
- Cada electrón transfiere una carga negativa a la seda
- Y una carga igual pero positiva permanece en la barra de vidrio



Cuantización de la carga eléctrica

- La carga eléctrica, q, se dice que está cuantizada
- q es el símbolo estándar que se usa para expresar una variable de carga
  - La carga eléctrica existe en la forma de "paquetes discretos"
  - $q = Ne$
    - N es un entero
    - e es la unidad fundamental de la carga
    - $|e| = 1.6 \times 10^{-19}$ C
    - Electrón: $q = -e$
    - Protón: $q = +e$

Conductores:

- Los conductores eléctricos son materiales en los cuales los electrones más externos de ellos se comportan como electrones libres
  - Los electrones libres **NO** están ligados a los átomos
  - Estos electrones se pueden mover libremente a través del sólido
  - Como ejemplos de buenos conductores se pueden incluir al Cu, Al y Ag
  - Cuando un buen conductor se carga en una región pequeña, la carga rápidamente se distribuye sobre toda la superficie del material

Aislantes:

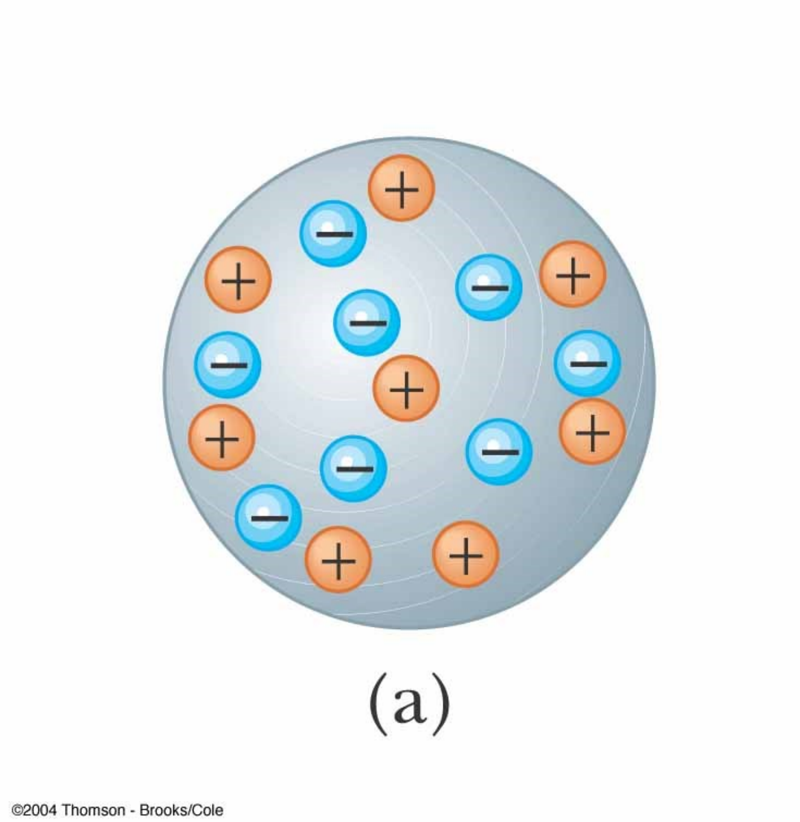
- Los aislantes eléctricos son materiales en los que todos los electrones están unidos a los átomos del sólido
  - Estos electrones no pueden moverse libremente con una facilidad relativa a través del sólido
  - Como ejemplos de buenos aislantes eléctricos tenemos al vidrio, el hule y a la madera
  - Cuando un buen aislante se carga en una región pequeña, la carga no tiene la capacidad para moverse a otras regiones del sólido. No se redistribuye en su superficie ni en el seno (bulto).

Semiconductores

- Las propiedades eléctricas de los semiconductores se localizan entre aquéllas para los conductores y las de los aislantes
- Como ejemplos de estos tenemos al grafito, al silicio y al germanio

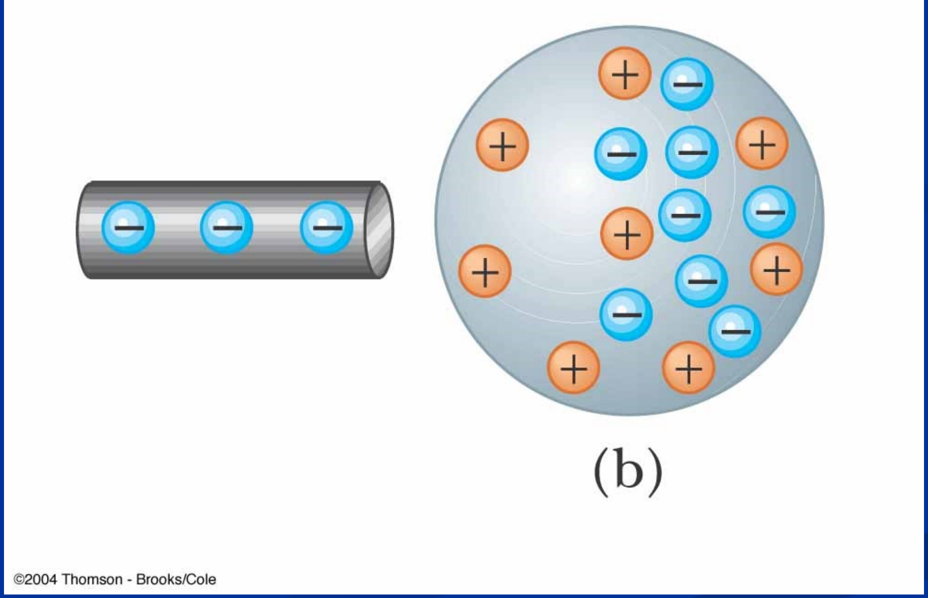
Carga por inducción

- No se requiere de contacto entre el inductor y el objeto a cargar
- Comenzamos con una esfera eléctricamente neutra
  - La esfera tiene el mismo número de cargas positivas y negativas



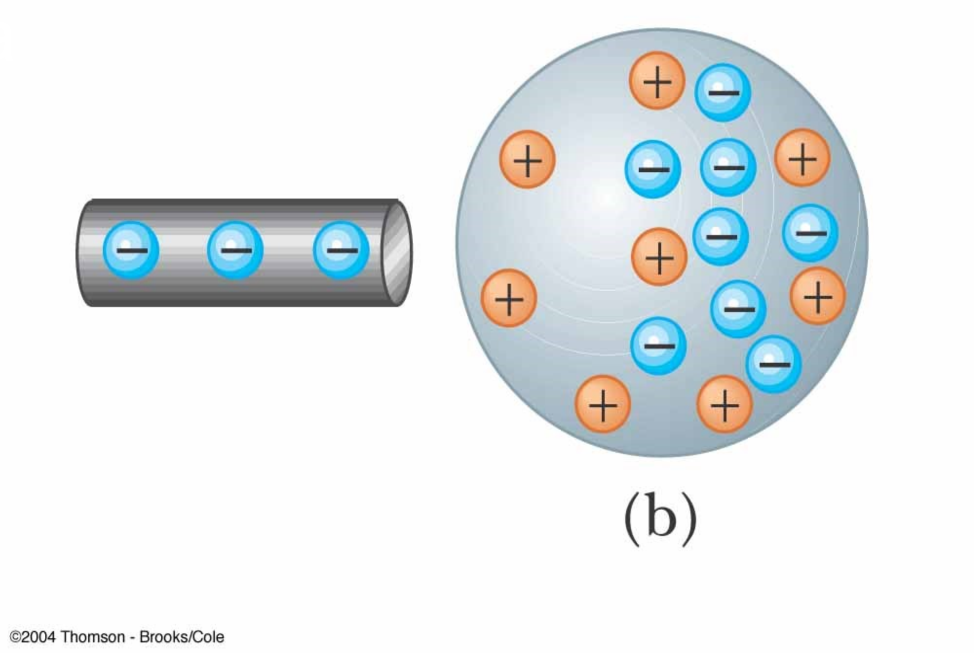
Cargando por inducción

- Al colcar la barra de hule cargada en la proximidad de la esfera se provoca una redistribución de carga en la esfera metálica (conductora)



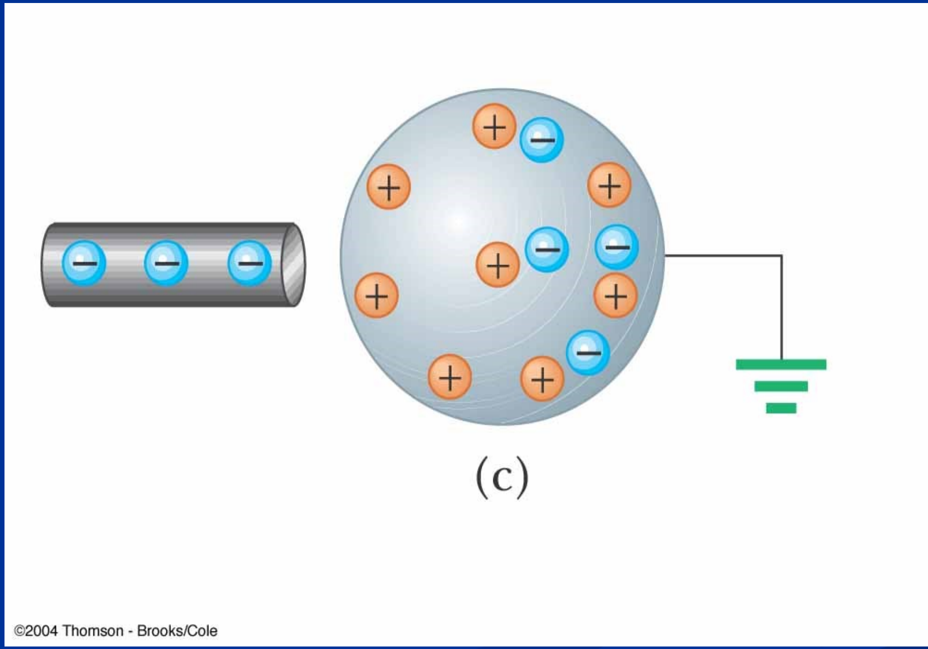
Cargando por inducción

- Al colcar la barra de hule cargada en la proximidad de la esfera se provoca una redistribución de carga en la esfera metálica (conductora)



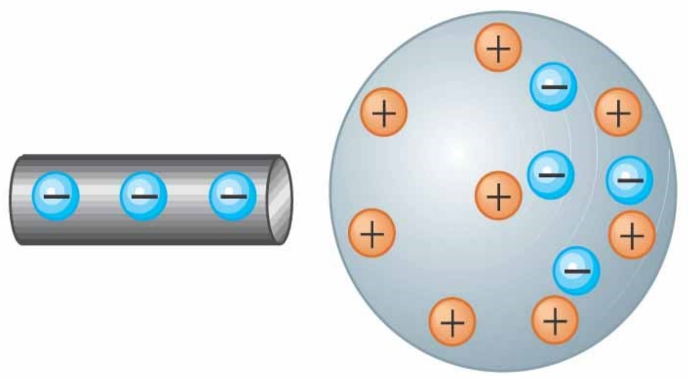
Cergando por inducción

- Ahora la esfera es llevada a tierra y algunos electrones pueden dejar la esfera a través del alambre de la tierra



Cargando por inducción

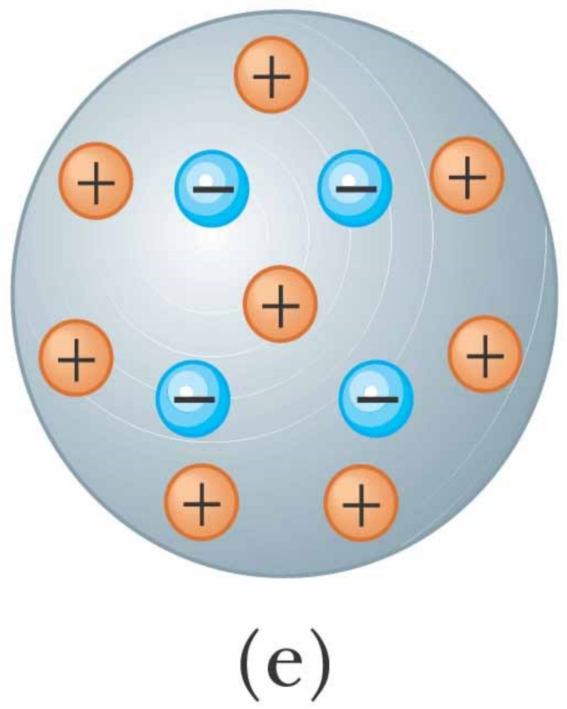
- Si la tierra es ahora retirada, existirán más cargas positivas que negativas en la esfera
- Una carga positiva ha sido inducida en la esfera



(d)

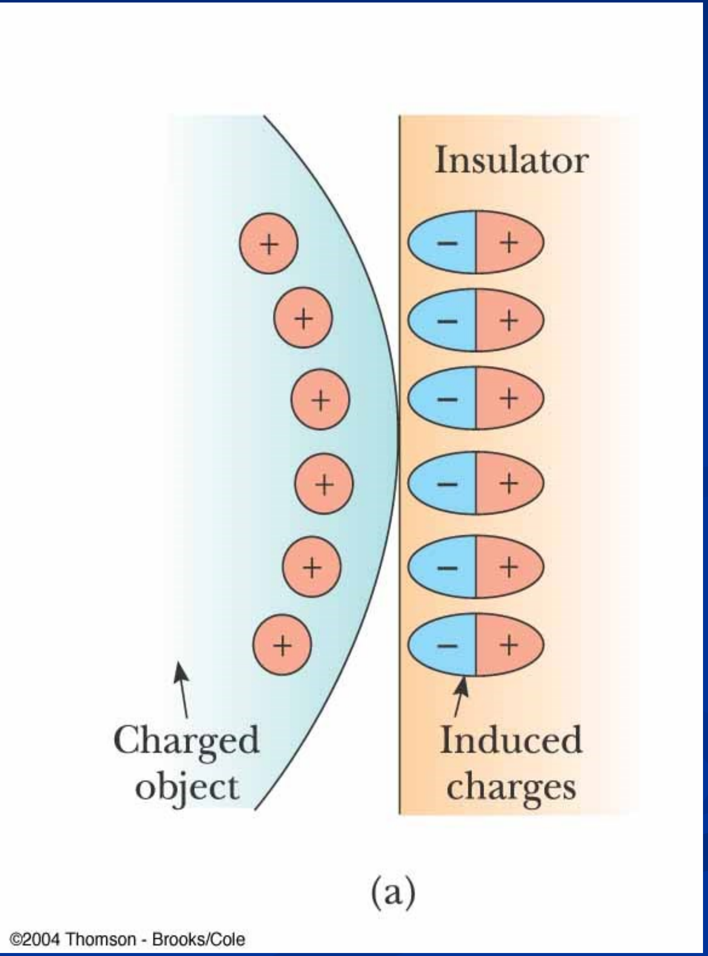
Cargando por inducción

- La barra de hule es retirada
- Los electrones que permanecen en la esfera se redistribuyen
- Pero existe un déficit de estos y una carga positiva neta se manisfestará en la esfera



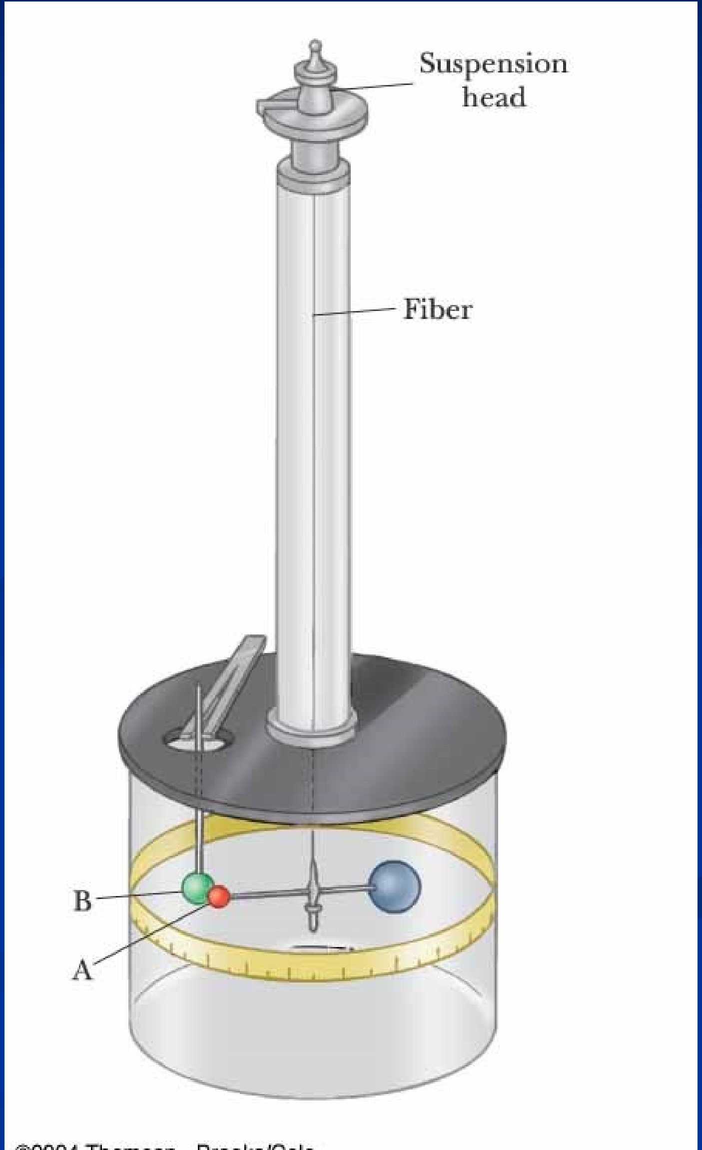
Rearreglos de carga en aislantes

- Un proceso similar al de inducción puede ocurrir en los aislantes
- Las cargas al interior de las moléculas del sólido aislante se rearreglan



Ley de Coulomb

- Charles A. Coulomb midió la magnitud de la fuerza eléctrica entre un par de esferas pequeñas cargadas
- Él encontró que la fuerza dependía del valor de la carga y de la distancia entre ellas



Ley de Coulomb

- La fuerza eléctrica entre dos cargas estacionarias está dada por la ley de Coulomb
- La fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la separación r entre las partículas y se presenta directamente a lo largo de la línea que las une
- La fuerza es además proporcional al producto de las cargas, q_1 y q_2, de las partículas

Carga puntual

- El término carga puntual hace referencia a una partícula de tamaño despreciable (cero) que es portadora de una carga eléctrica
  - El comportamiento eléctrico de protones y electrones está bien descrito si uno las modela como cargas puntuales

Ecuación de la ley de Coulomb

- Matemáticamente,

$$F_e = k_e \frac{|q_1|\,|q_2|}{r^2}$$

- La unidad SI es el **coulomb** (C)
- k_e es la constante de **Coulomb**
  - $k_e = 8.9875 \times 10^9$ N·m^2/C^2 = $1/(4\pi e_o)$
  - e_o es la **permitividad del espacio libre**
  - $e_o = 8.8542 \times 10^{-12}$ C^2 / N·m^2

Notas:

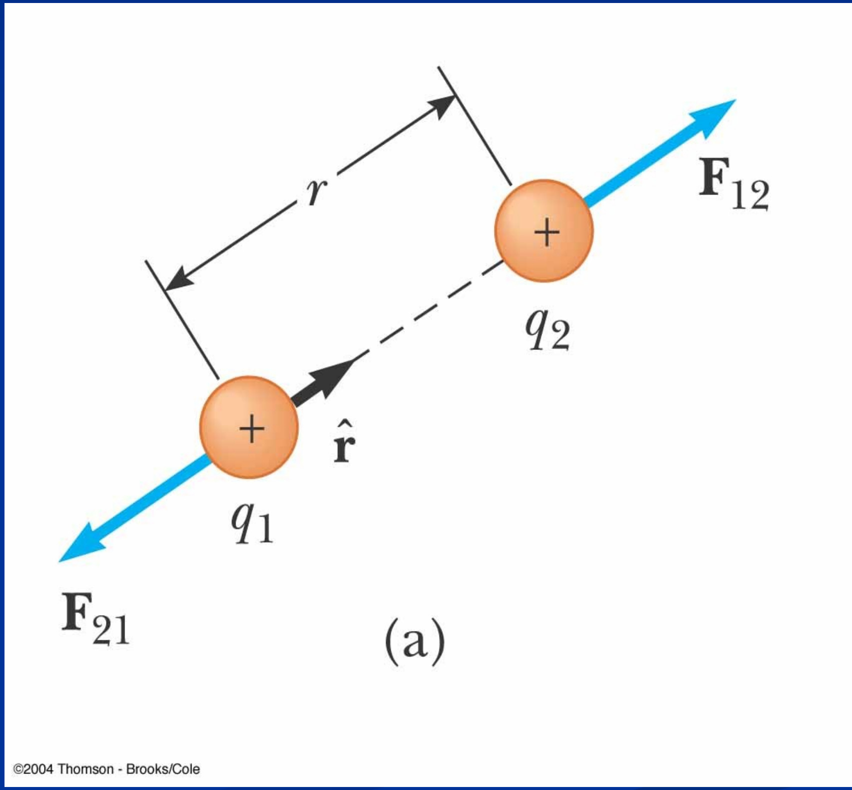
- Es muy recomendable trabajar siempre con cargas en coulombios
  - *e* es la unidad de carga más pequeña
    - Excepto los quarks
  - $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C
  - De esta forma, para "hacer" 1 C se necesitan 6.24 x 10^{18} electrones or protones
- Las cargas típicas que se presentan se dan en el intervalo de μC
- Recordar que la fuerza es una cantidad vectorial

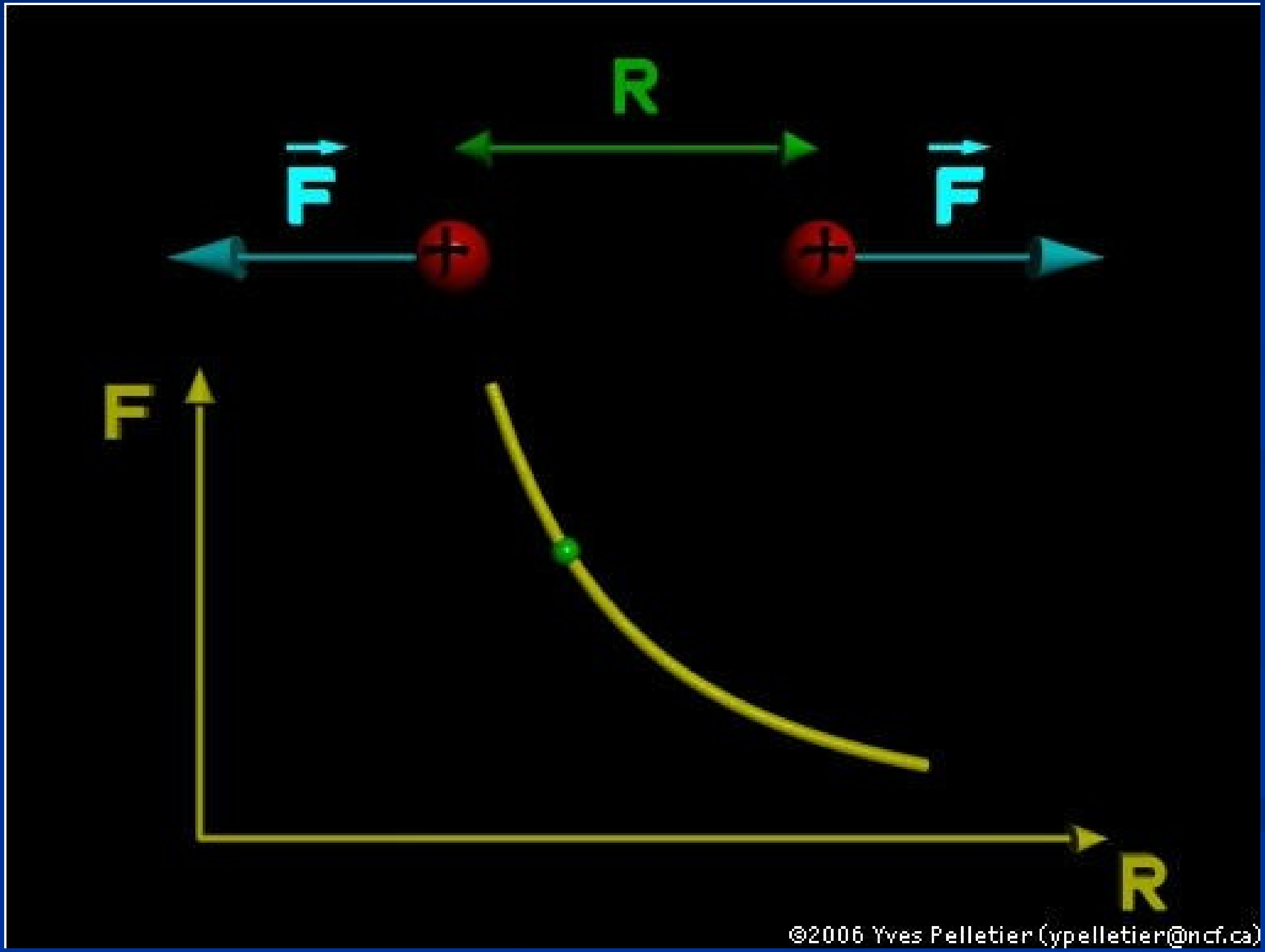
Naturaleza Vectorial de las fuerzas eléctricas

- En forma vectorial, la fuerza que q_1 ejerce sobre q_2 es:

$$\mathbf{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

- $\hat{\mathrm{r}}$ es un vector unitario dirigido de q_1 a q_2
- En esta ecuación las cargas deben ser incorporadas con su signo




R
F
F
F
R
©2006 Yves Pelletier (ypelletier@ncf.ca)

Notas:

- Las fuerzas eléctricas obedecen la tercera ley de Newton
- La fuerza sobre q_1 es igual en magnitud y opuesta en dirección a la fuerza sobre q_2
  - $\mathbf{F}_{21} = -\mathbf{F}_{12}$
- En la forma vectorial de la ecuación, hay que tener mucho cuidado con introducir los signos de cada carga q_1 y q_2 ya que de ello depende el que sea una fuerza repulsiva o atractiva

Ejemplo del átomo de hidrógeno

- La fuerza entre el protón de su núcleo y el electrón se puede encontrar por ley de Coulomb
  - $F_e = k_e q_1 q_2 / r^2 = 8.2 \times 10^{-8}$ N
- También puede compararse con la fuerza gravitacional entre ellos
  - $F_g = G m_e m_p / r^2 = 3.6 \times 10^{-47}$ N

$G = 6.67384(80) X 10^{-11}$; Nm^{2}/kg^{2}

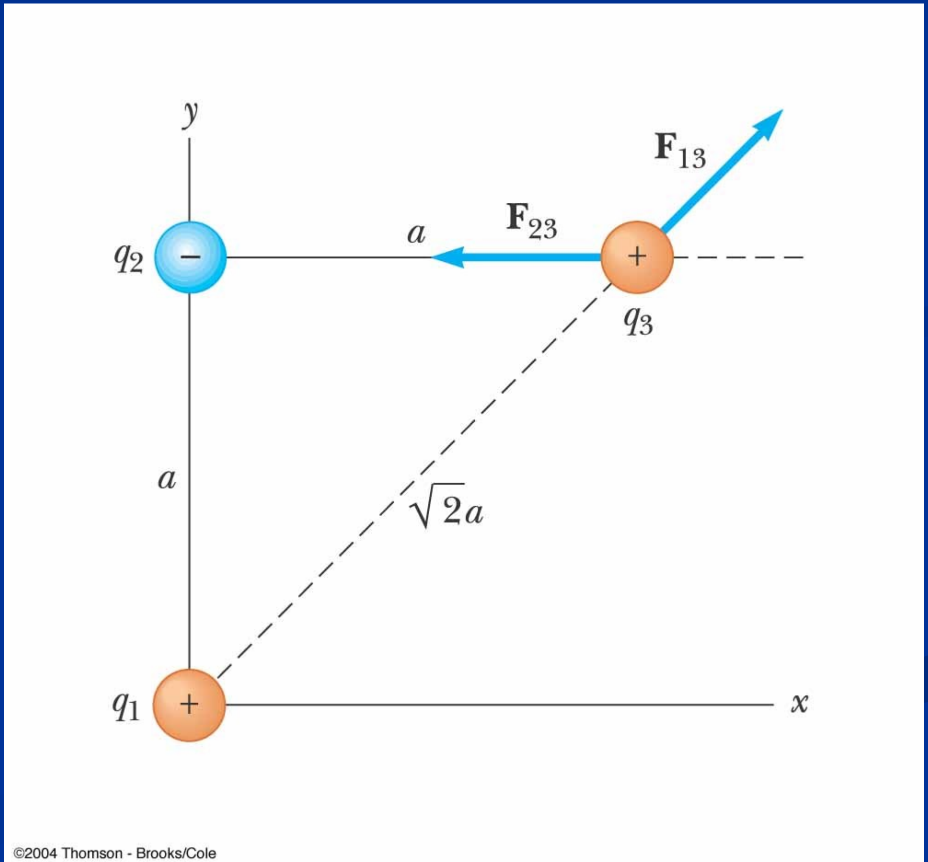
Principio de superposición

- La fuerza resultante sobre una carga cualquiera es la suma vectorial de las fuerzas ejercidas por las otras cargas que están presentes. Y al considerar cada una de estas fuerzas, no se toma en cuenta, sino la de aquélla carga en cuestión
  - Tenga presente que la fuerza es un vector
- Tome el caso de 4 cargas; usted desea la fuerza sobre q_1:

  $$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{21} + \mathbf{F}_{31} + \mathbf{F}_{41}$$

Ejemplo de superposición

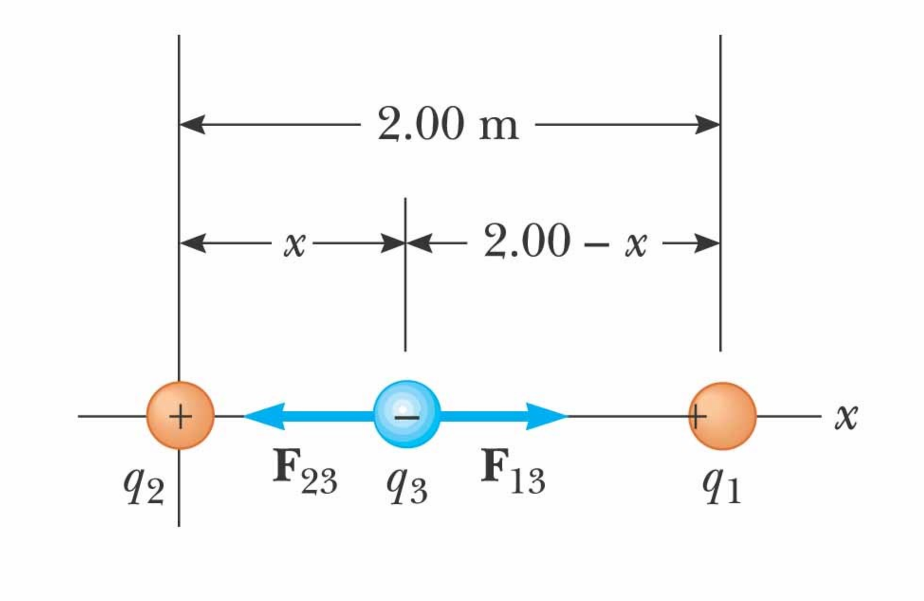
- La fuerza ejercida por q_1 sobre q_3 es $\mathbf{F}_{13}$
- La fuerza ejercida por q_2 sobre q_3 es $\mathbf{F}_{23}$
- La fuerza resultante ejercida sobre q_3 es la suma vectorial de $\mathbf{F}_{13}$ y $\mathbf{F}_{23}$



Ejemplo de fuerza resultante cero

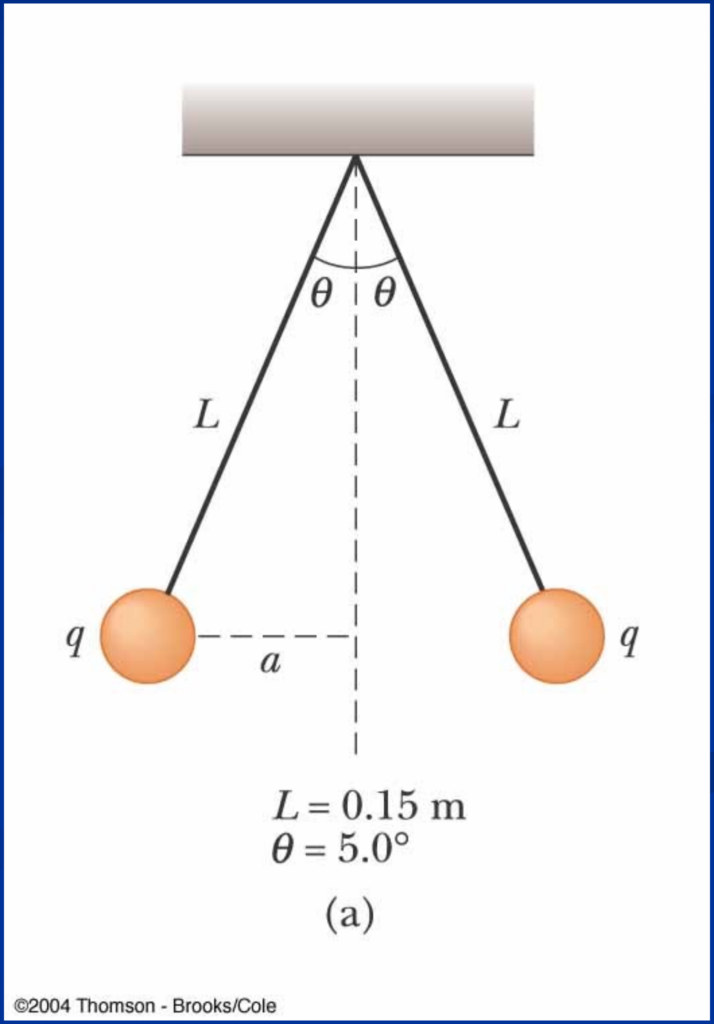
- Dónde debe colocarse la carga q_3 con el fin de que la fuerza resultante sobre ella sea cero?
  - Las magnitudes de las fuerzas individuales deben ser iguales
  - Las direcciones son opuestas
- Resultará una ecuación cuadrática
- Cuidado a la hora de elegir la raíz adecuada para su resultado

Suponga que $q_1=2q_2$



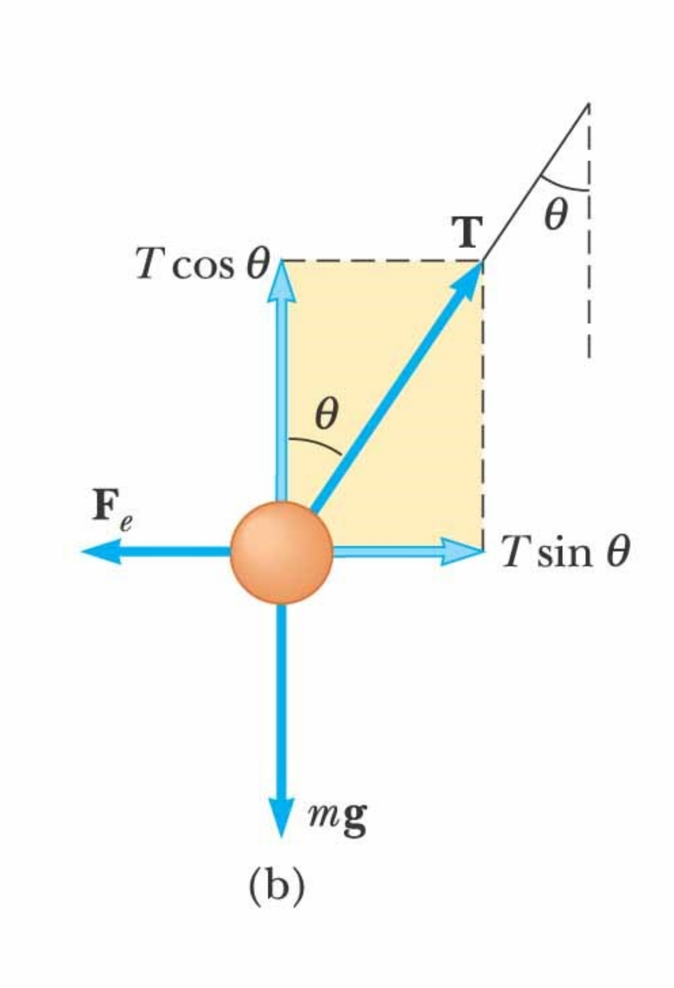
Otro ejemplo:

- Las esferas están en equilibrio
- Las cargas son iguales
- Establezca las condiciones de equlibrio



Análisis de…

- Analizando a la partícula de la izquierda. Se construye el diagrama de cuerpo libre en el que se contemplan las componentes de la tensión, la fuerza eléctrica y el peso de las esferas
- Resolver para $|q|$
- No se puede resolver el signo de q ya que el resultado sería el mismo



El campo eléctrico

- La fuerza eléctrica es una fuerza de campo
- Las fuerzas de campo pueden actuar a través del espacio sin que medie un objeto material para su manifestación.
  - El efecto es producido aún cuando no exista contacto físico entre los objetos
- Faraday desarrolló el concepto de campo específicamente para el campo eléctrico

Campo eléctrico, definición

- Se dice que existe un campo eléctrico en una región alrededor de un objeto cargado
  - Este objeto cargado es la *fuente de carga*
- Cuando otro objeto, también cargado y llamado ***carga de prueba***, entra en esta región de campo eléctrico, una fuerza actúa sobre él

- El campo eléctrico se define como el cociente de la fuerza eléctrica que actúa sobre la carga de prueba, entre el valor de su carga (de prueba).
- El vector campo eléctrico, **E**, en un punto en el espacio se define como la fuerza eléctrica, **F**, que actúa sobre una carga positiva, q_o colocada en ese punto y dividida por el valor de la carga de prueba: $\mathbf{E} = \mathbf{F}_e / q_o$

Notas sobre E

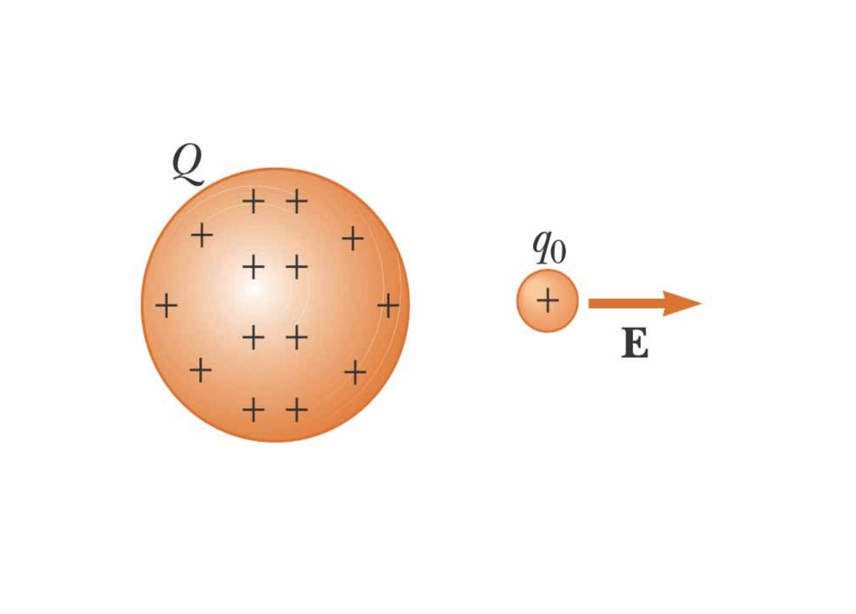
- **E** es el campo producido por alguna carga o distribución de cargas, separadas de la carga de prueba.
- La existencia del campo eléctrico es una propiedad de la fuente de carga
  - La presencia de una carga de pueba no es necesaria para que el campo exista; solamente lo cuantifica
- La carga de prueba es una especie de detector del campo eléctrico y no lo perturba

Relaciones entre F y E

- $\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$
  - Vale sólo para una carga puntual
  - Para objetos mayores, el campo puede variar en función del tamaño del objeto
- Si q es positiva, **F** y **E** tienen la misma dirección
- Si q es negativa, **F** y **E** tienen direcciones opuestas

Más notas:

- La dirección de **E** es la de la fuerza sobre una carga de prueba positiva
- Las unidades SI para **E** son N/C
- También podemos decir que un campo eléctrico existe en un punto, si colocando una carga de prueba ahí, ésta manifiesta una fuerza eléctrica.



Forma vectiorial de un campo eléctrico

- La fuerza eléctrica entre una fuente de carga y la carga de prueba es

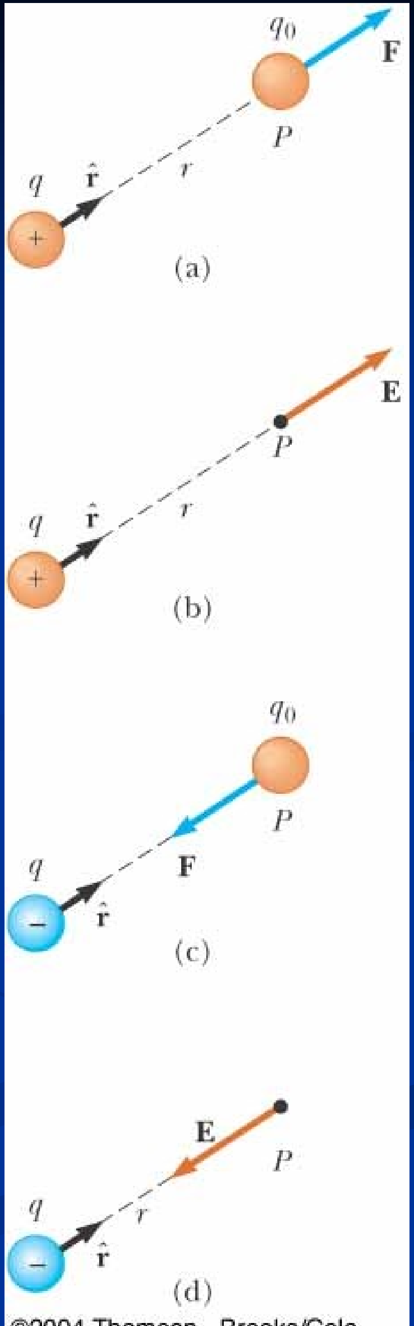
$$\mathbf{F}_e = k_e \frac{q q_o}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

- Entonces, el campo será

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}_e}{q_o} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Sobre la dirección de F y E

- a) Si *q* es positiva, **F** se dirige desde *q*
- b) La dirección de **E** es también a partir de la fuente de carga positiva
- c) Si *q* es negativa, **F** se dirige hacia *q*
- d) **E** es también hacia la fuente de carga negativa



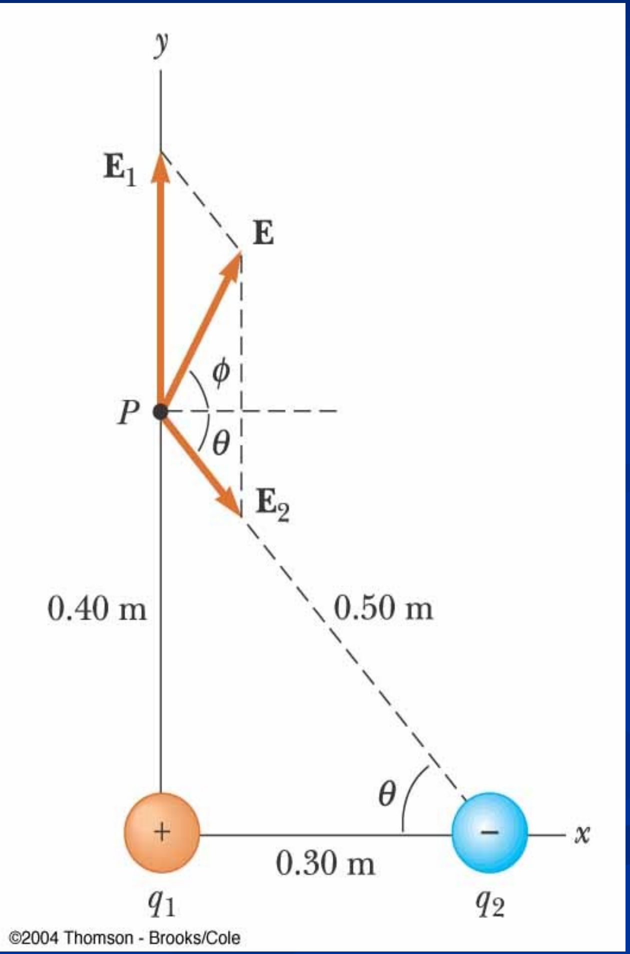
Principio de superposición de E

- Para un punto *P*, el campo eléctrico total es la ***suma vectorial*** de todos los campos eléctricos que producen cada una de las cargas

$$\mathbf{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$

Ejemplo de superposición

- Encontrar el campo eléctrico debido a q_1, $\mathbf{E}_1$
- Encontrar el campo eléctrico debido a q_2, $\mathbf{E}_2$
- $\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$
  - Recordar que los campos se suman como vectores
  - La dirección de los campos individuales es la dirección de la fuerza sobre una carga de prueba positiva

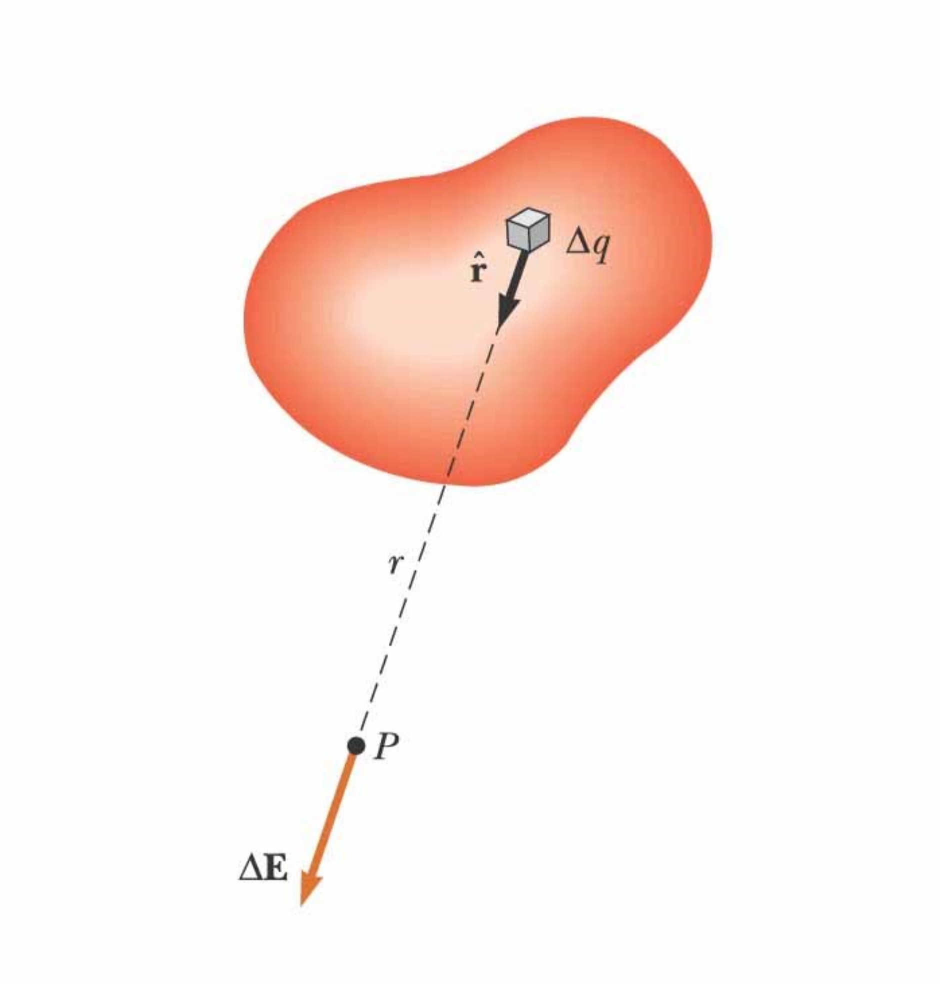


Campo eléctrico para distribuciones contínuas de carga

- La distancia entre las cargas de un grupo de cargas, puede ser mucho más pequeña que la distancia entre el grupo de cargas y un punto de interés
- En esta situación, el sistema de cargas puede ser modelado como un contínuo
- El sistema de cargas espaciadas es equivalente a que la carga total sea continuamente distribuída a lo largo de una línea, una superficie o a través de un volumen

Distribución de carga

- Procedimiento:
  - Divida la distribución de cargas en elementos pequeños, cada uno de los cuales contiene Δq
  - Calcule el campo eléctrico debido a uno de estos elementos en el punto P
  - Evalúe el campo total, asumiendo las contribuciones de todos los elementos de carga



Ecuaciones para distribuciones de carga.

- Para los elementos de carga individuales

$$\Delta \mathbf{E} = k_e \frac{\Delta q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

- Ya que la distribución de carga es contínua (homogénea)

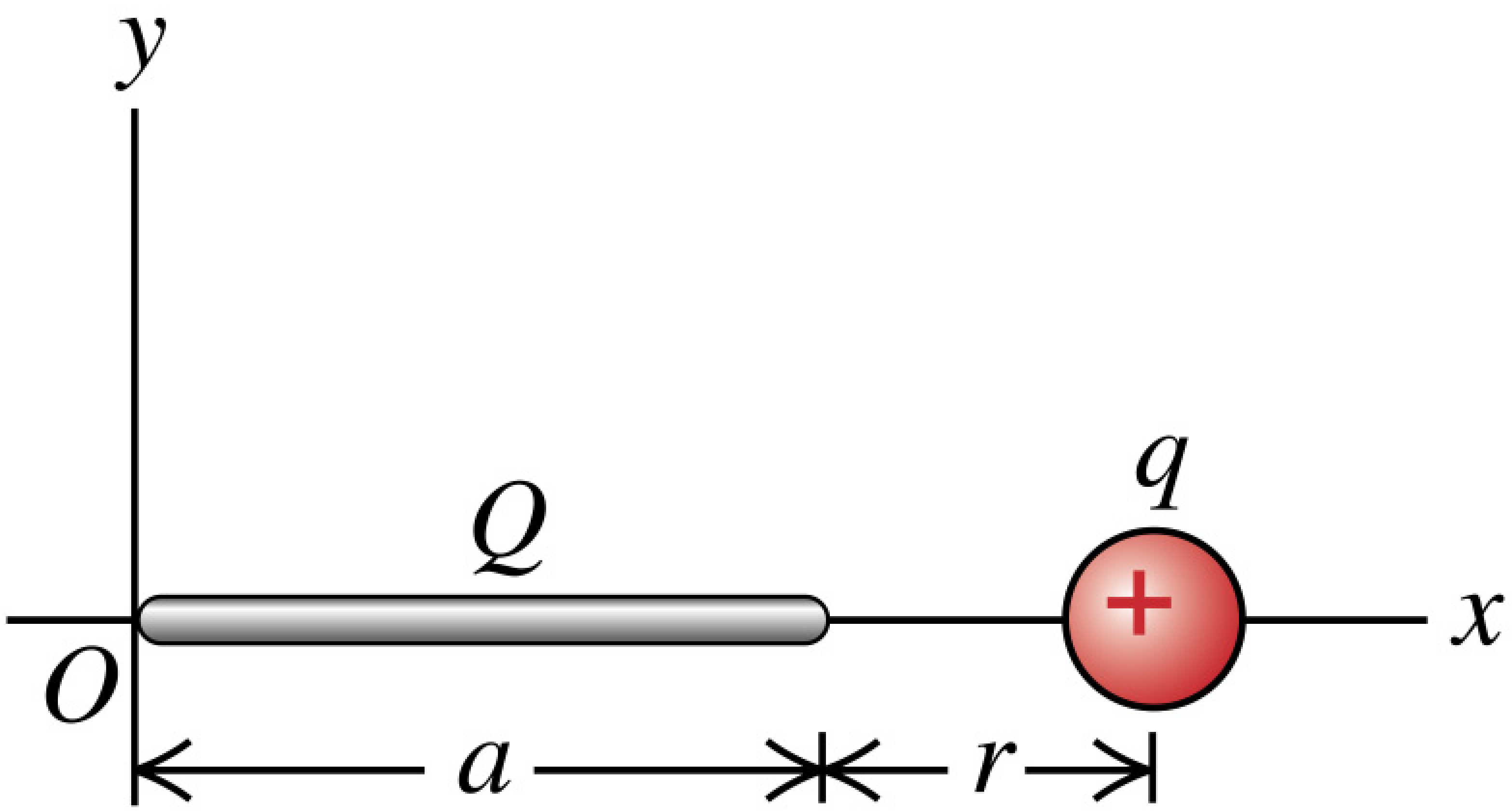
$$\mathbf{E} = k_e \lim_{\Delta q_i \to 0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i = k_e \int \frac{dq}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

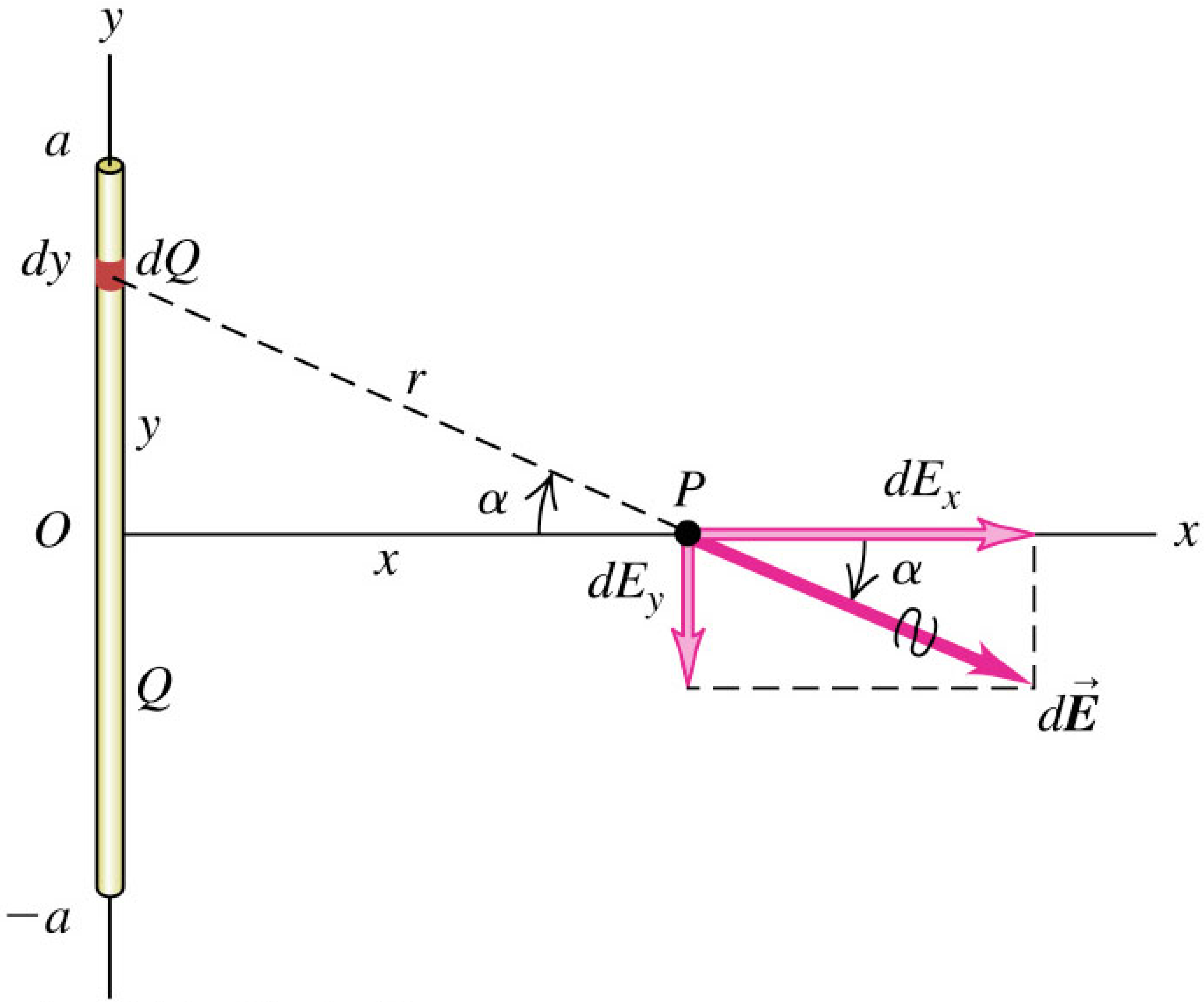
Densidades de carga

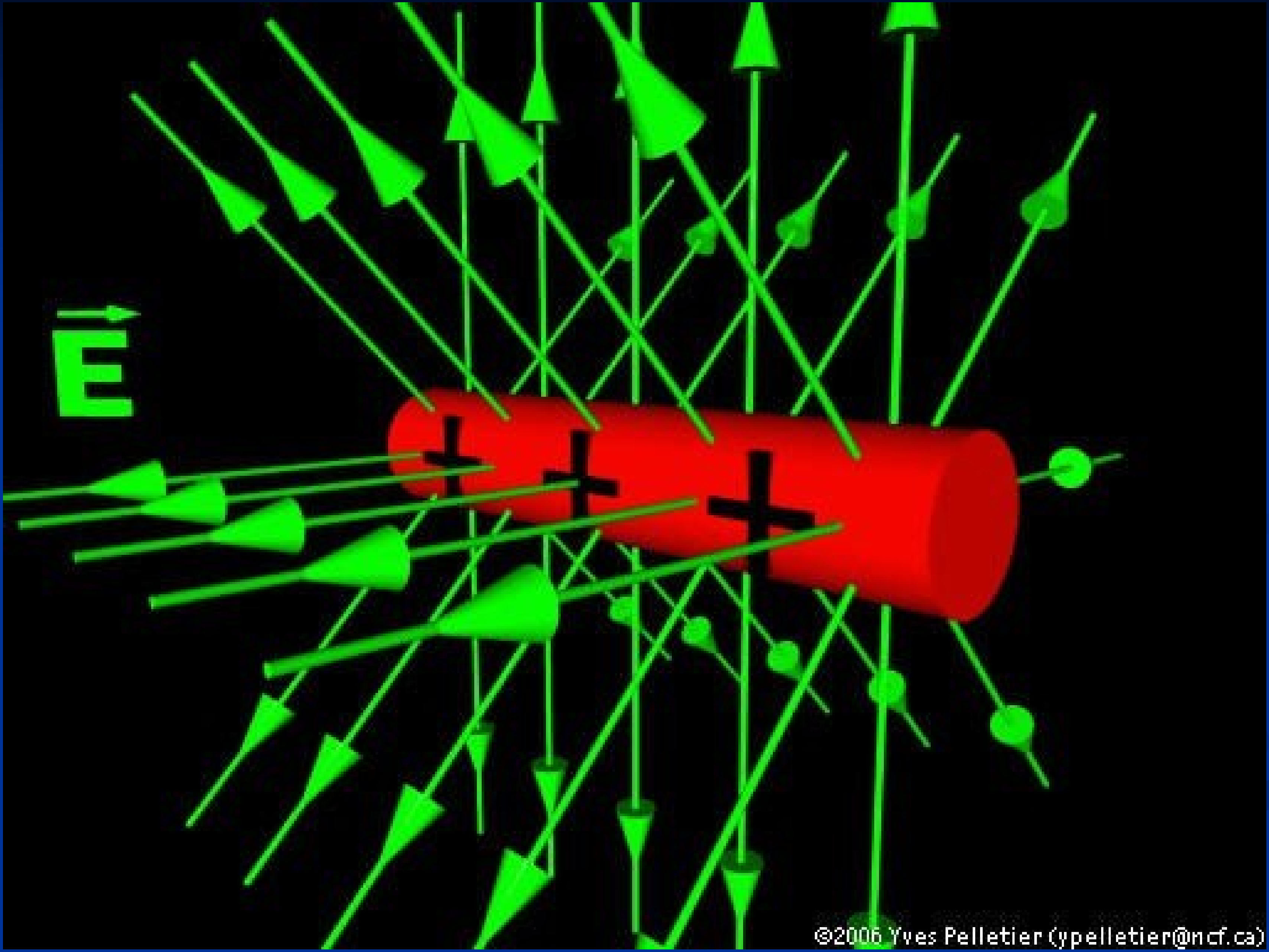
- **Densidad volumétrica de carga**: cuando una carga total está distribuida homogéneamente a través de un volumen
  - $\rho = Q / V$
- **Densidad superficial de carga** : Cuando una carga total Q, esta distribuida homogéneamente sobre una área superficial
  - $\sigma = Q / A$
- **Densidad lineal de carga**: cuando una carga total Q se encuentra distribuida a lo largo de una línea
  - $\lambda = Q / \ell$

Elementos de carga de estas distribuciones

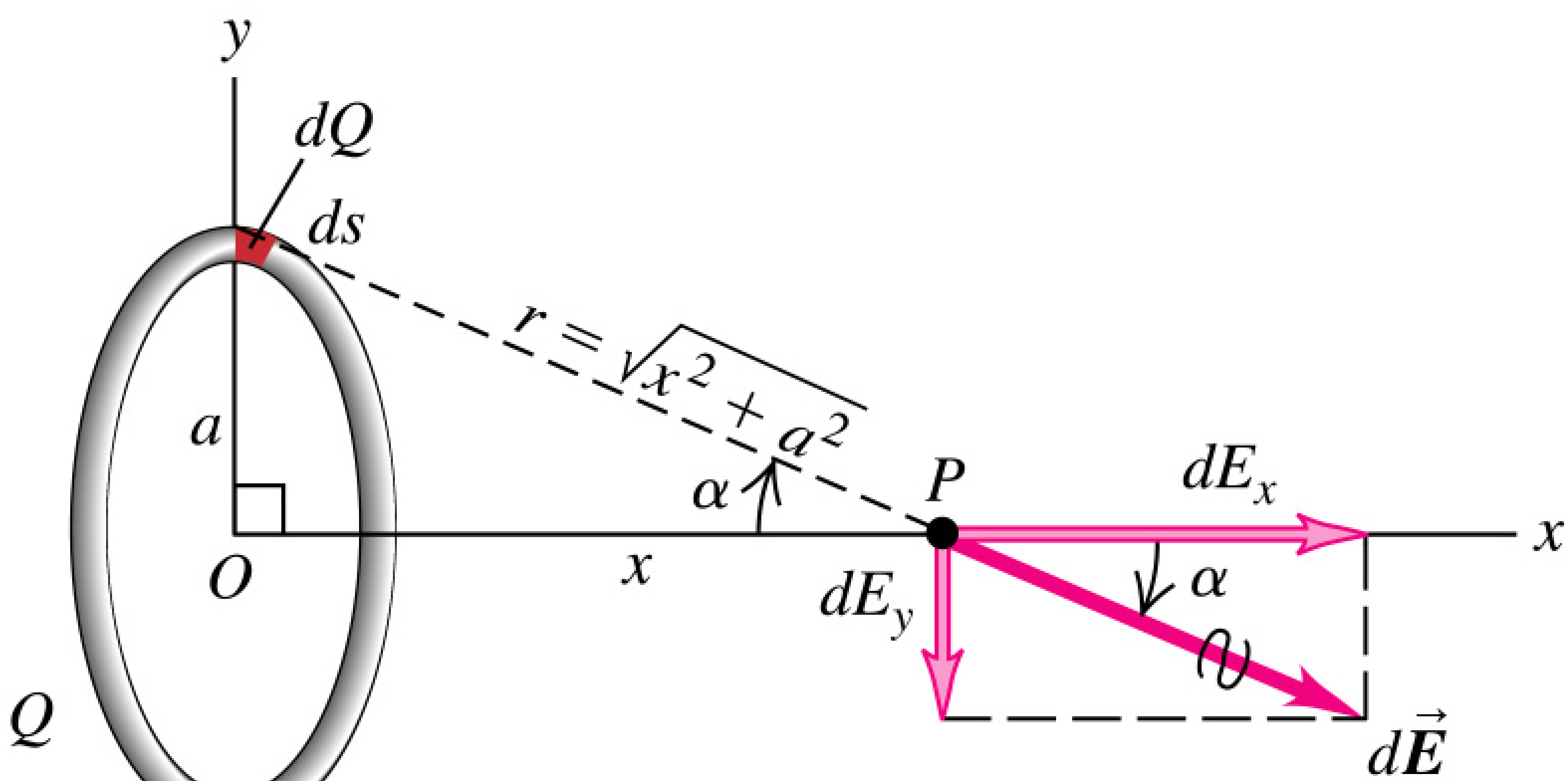
- Para un elemento de volumen:
  $dq = \rho\, dV$
- Para un elemento de superficie:
  $dq = \sigma\, dA$
- Para un elemento de longitud: $dq = \lambda\, d\ell$


y
Q
q
+
x
O
a
r


y
a
dy
dQ
r
y
α
P
dE_x
O
x
x
α
dE_y
Q
dE
−a



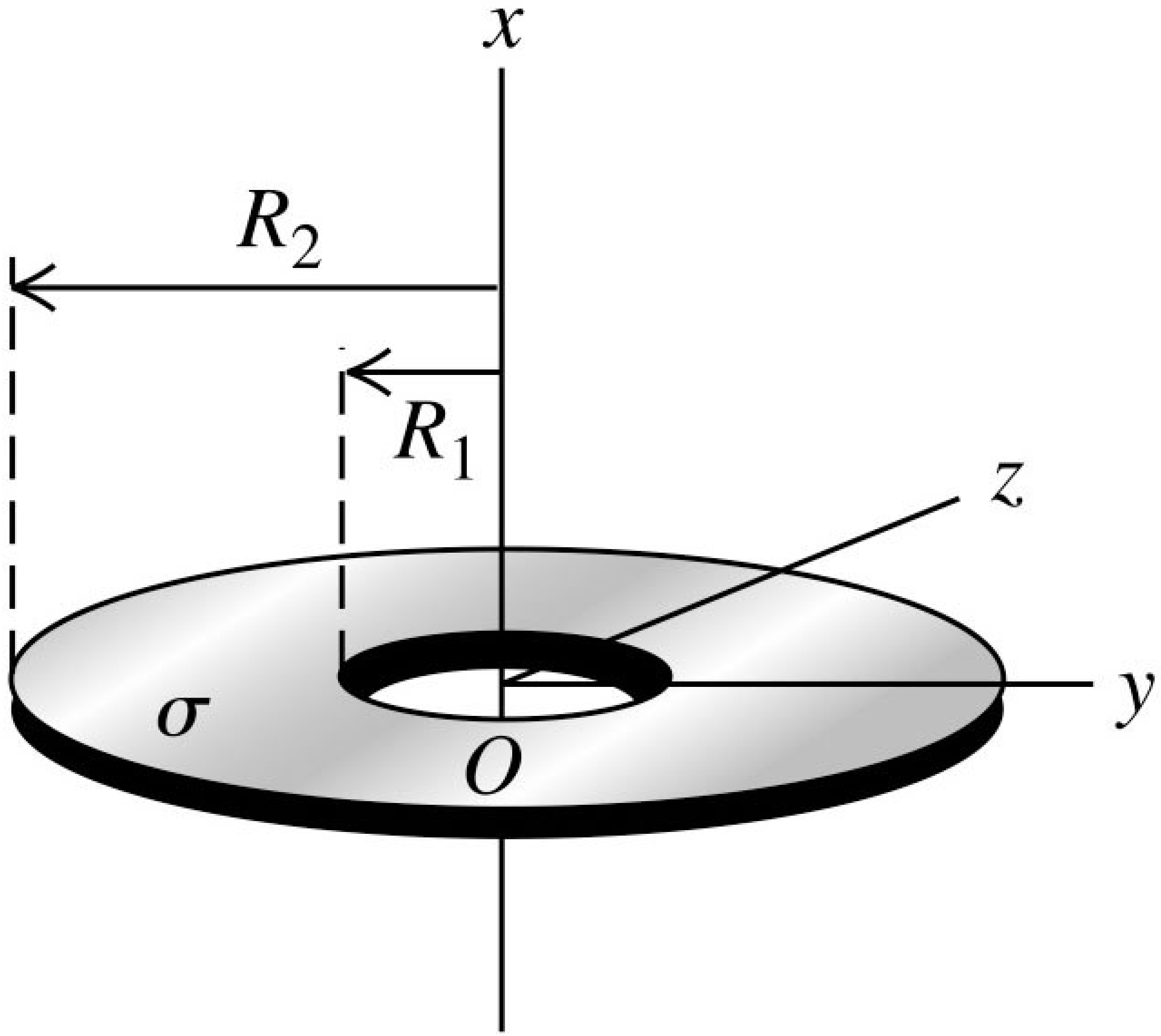
$\vec{E}$
©2006 Yves Pelletier (ypelletier@ncf.ca)



y
dQ
ds
$r = \sqrt{x^2 + a^2}$
a
O
x
α
P
dE_x
x
dE_y
α
Q
$d\vec{E}$

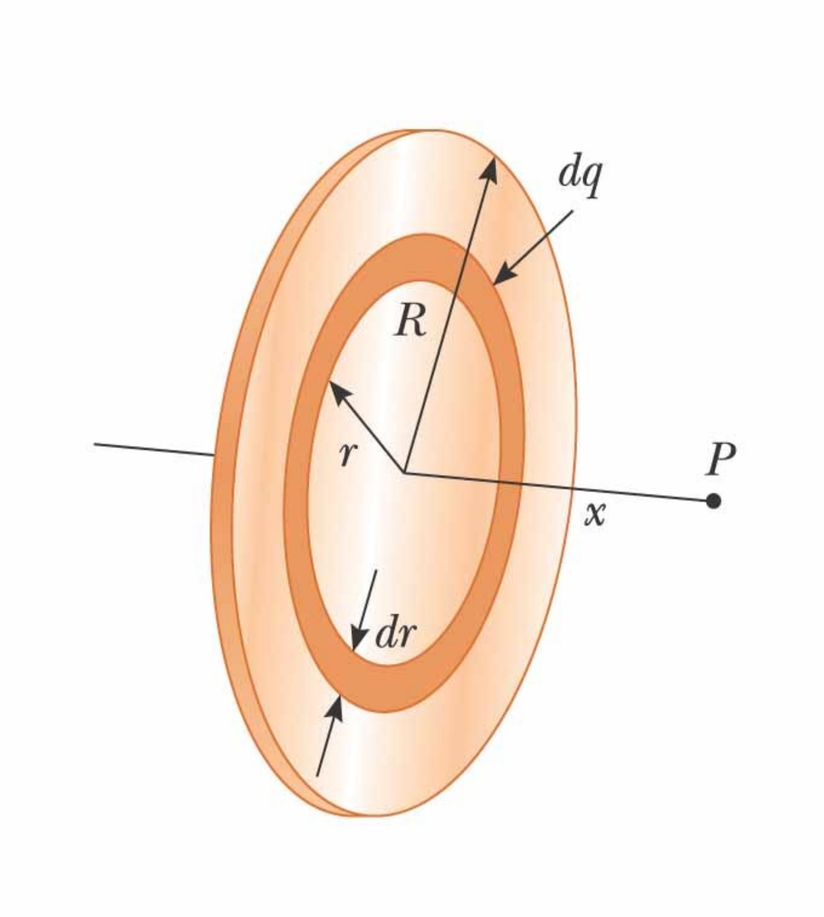
Algunos valores de campos eléctricos:

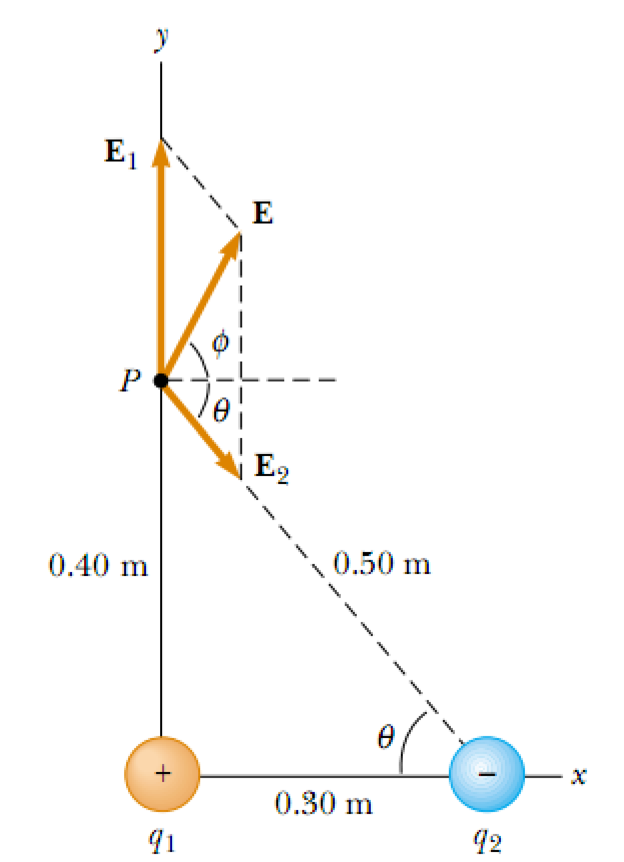
Superficie de núcleo de Uranio	$2X10^{21}$	N/C
En la superficie de un pulsar	10^{14}	N/C
En la órbita de un electrón en átomo de H	$6X10^{11}$	
Un tubo de rayos X	$5X10^{6}$	
Ruptura eléctrica del aire	$3X10^{6}$	
Acelerador de Van de Graff	$2X10^{6}$	
Dentro de un rayo	$\sim 10^{4}$	
Bajo una nube de tormenta	$1X10^{4}$	
Cerca de una antena radar	$7X10^{3}$	
Luz del sol	$1X10^{3}$	
En la atmosfera (buen tiempo)	$1X10^{2}$	
Un rayo de un laser de poca potencia (rms)	$1X10^{2}$	
En el interior de un tubo fluorescente	10	
Una onda de radio	$\sim 10^{-1}$	
Cableado domestico	$\sim 3.0X10^{-2}$	
Radiación térmica de espacio intergaláctico	$3X10^{-6}$	


x
R2
R1
z
y
σ
O

Un disco cargado

- El disco de carga σ y un radio R
- Elija *dq* como lo hizo con el anillo de radio r
- El elemento de superficie del disco es ahora $2\pi r\,\sigma dr$





A charge $q_1 = 7.0\ \mu\text{C}$ is located at the origin, and a second charge $q_2 = -5.0\ \mu\text{C}$ is located on the x axis, 0.30 m from the origin (Fig. 23.14). Find the electric field at the point P, which has coordinates (0, 0.40) m.

$$E_1 = k_e \frac{|q_1|}{r_1^2} = (8.99 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)\frac{(7.0 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0.40\ \text{m})^2}$$
$$= 3.9 \times 10^5\ \text{N/C}$$

$$E_2 = k_e \frac{|q_2|}{r_2^2} = (8.99 \times 10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)\frac{(5.0 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(0.50\ \text{m})^2}$$
$$= 1.8 \times 10^5\ \text{N/C}$$

The vector $\mathbf{E}_1$ has only a y component. The vector $\mathbf{E}_2$ has an x component given by $E_2 \cos\theta = \frac{3}{5}E_2$ and a negative y component given by $-E_2 \sin\theta = -\frac{4}{5}E_2$. Hence, we can express the vectors as

$$\mathbf{E}_1 = 3.9 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}}\ \text{N/C}$$

$$\mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{\mathbf{i}} - 1.4 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}})\ \text{N/C}$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = (1.1 \times 10^5 \hat{\mathbf{i}} + 2.5 \times 10^5 \hat{\mathbf{j}})\ \text{N/C}$$

From this result, we find that **E** makes an angle ϕ of 66° with the positive x axis and has a magnitude of 2.7×10^5 N/C.

Caso de un dipolo eléctrico

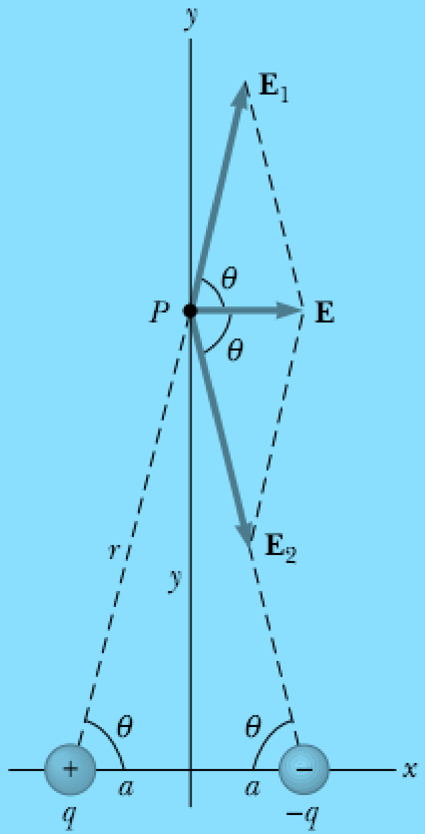


Figure 23.15 (Example 23.6) The total electric field **E** at P due to two charges of equal magnitude and opposite sign (an electric dipole) equals the vector sum $\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$. The field $\mathbf{E}_1$ is due to the positive charge q, and $\mathbf{E}_2$ is the field due to the negative charge $-q$.

$$E_1 = E_2 = k_e \frac{q}{r^2} = k_e \frac{q}{y^2 + a^2}$$

have the same magnitude. Therefore, **E** is parallel to the x axis and has a magnitude equal to $2E_1 \cos\theta$. From Figure 23.15 we see that $\cos\theta = a/r = a/(y^2 + a^2)^{1/2}$. Therefore,

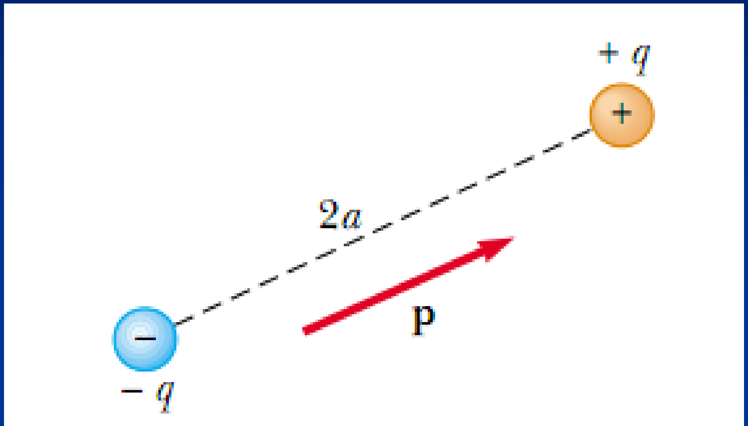
$$E = 2E_1 \cos\theta = 2k_e \frac{q}{(y^2 + a^2)} \frac{a}{(y^2 + a^2)^{1/2}}$$

$$= k_e \frac{2qa}{(y^2 + a^2)^{3/2}}$$

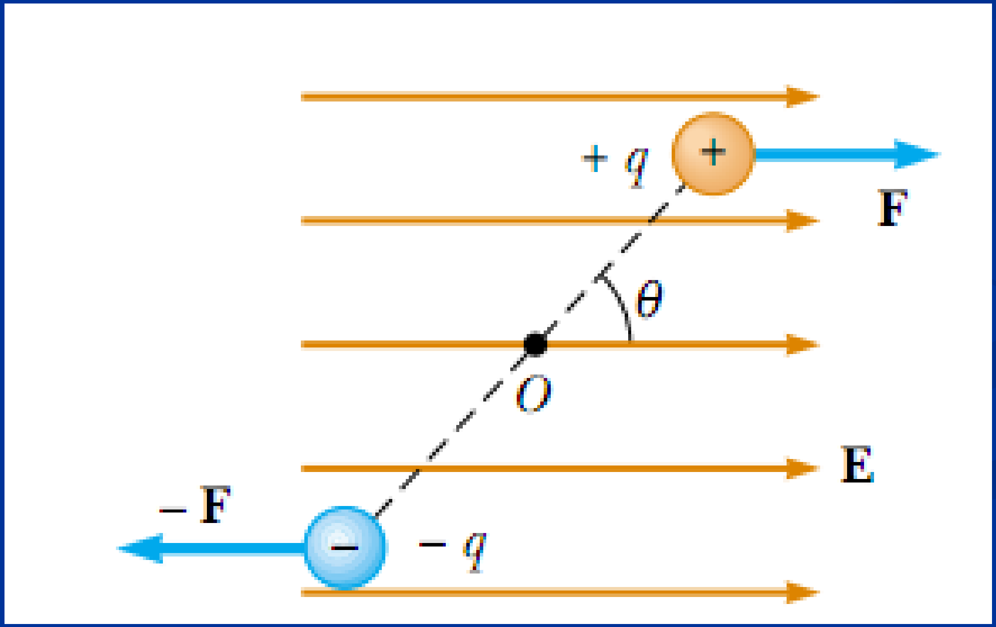
Because $y \gg a$, we can neglect a^2 compared to y^2 ar

$$E \approx k_e \frac{2qa}{y^3}$$

Campo de un dipolo



$$p \equiv 2aq$$



$$\tau = 2Fa \sin \theta$$

$$\tau = 2aqE \sin \theta = pE \sin \theta$$

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$$

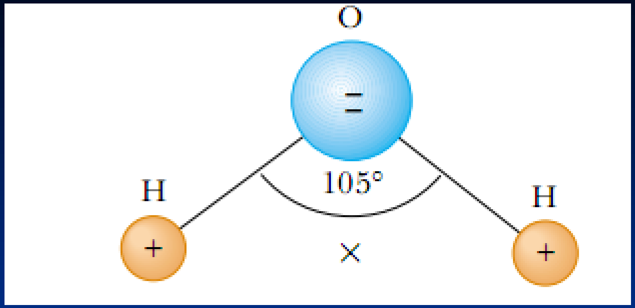
$$dW = \tau \, d\theta$$

$$U_f - U_i = \int_{\theta_i}^{\theta_f} \tau \, d\theta = \int_{\theta_i}^{\theta_f} pE \sin \theta \, d\theta = pE \int_{\theta_i}^{\theta_f} \sin \theta \, d\theta$$
$$= pE[-\cos \theta]_{\theta_i}^{\theta_f} = pE(\cos \theta_i - \cos \theta_f)$$

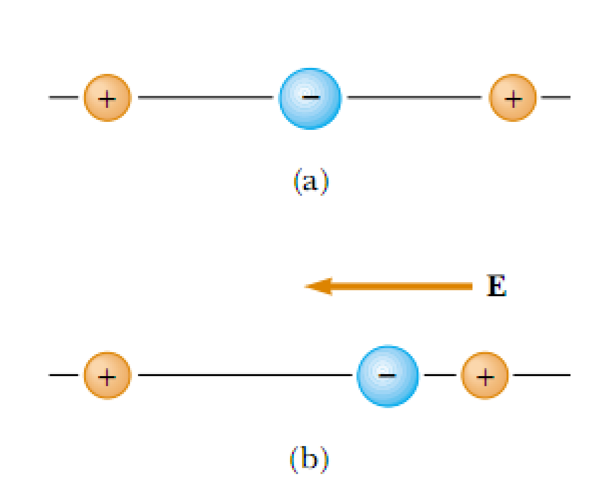
$$U_i = 0 \text{ at } \theta_i = 90°$$

$$U = -pE \cos \theta$$

$$U = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$$



O
−
H
H
+
+
105°
×



+
−
+
(a)
E
+
−
+
(b)

The water (H_2O) molecule has an electric dipole moment of $6.3 \times 10^{-30}\ \mathrm{C \cdot m}$. A sample contains 10^{21} water molecules, with the dipole moments all oriented in the direction of an electric field of magnitude $2.5 \times 10^{5}\ \mathrm{N/C}$. How much work is required to rotate the dipoles from this orientation ($\theta = 0°$) to one in which all the moments are perpendicular to the field ($\theta = 90°$)?

$$\begin{aligned} W = U_{90°} - U_{0°} &= (-pE \cos 90°) - (-pE \cos 0°) \\ &= pE = (6.3 \times 10^{-30}\ \mathrm{C \cdot m})(2.5 \times 10^{5}\ \mathrm{N/C}) \\ &= 1.6 \times 10^{-24}\ \mathrm{J} \end{aligned}$$

Because there are 10^{21} molecules in the sample, the *total* work required is

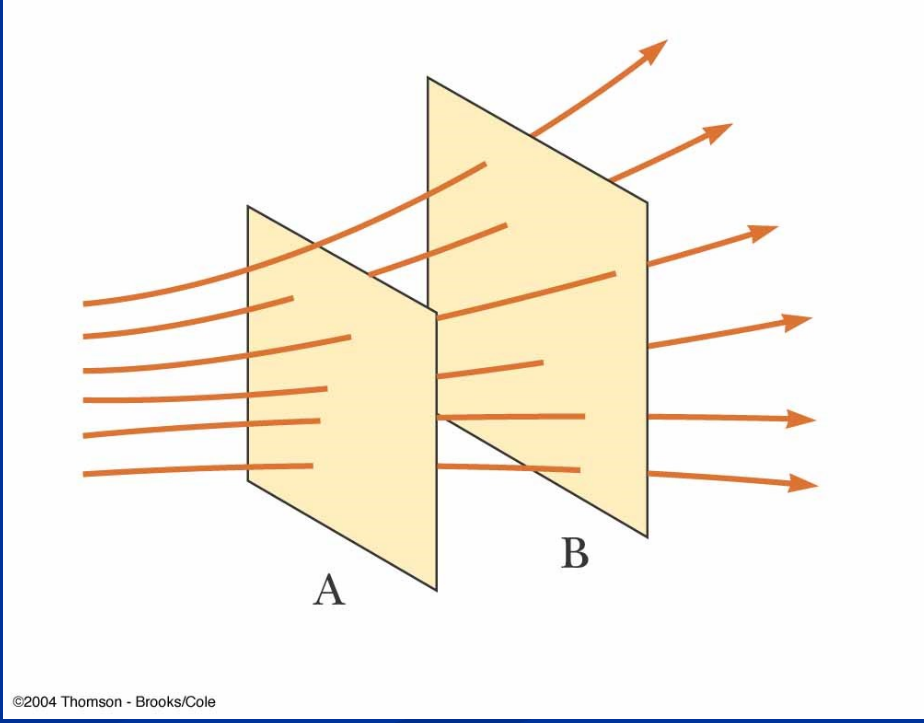
$$W_{\text{total}} = (10^{21})(1.6 \times 10^{-24}\ \mathrm{J}) = \boxed{1.6 \times 10^{-3}\ \mathrm{J}}$$

Líneas de campo eléctrico

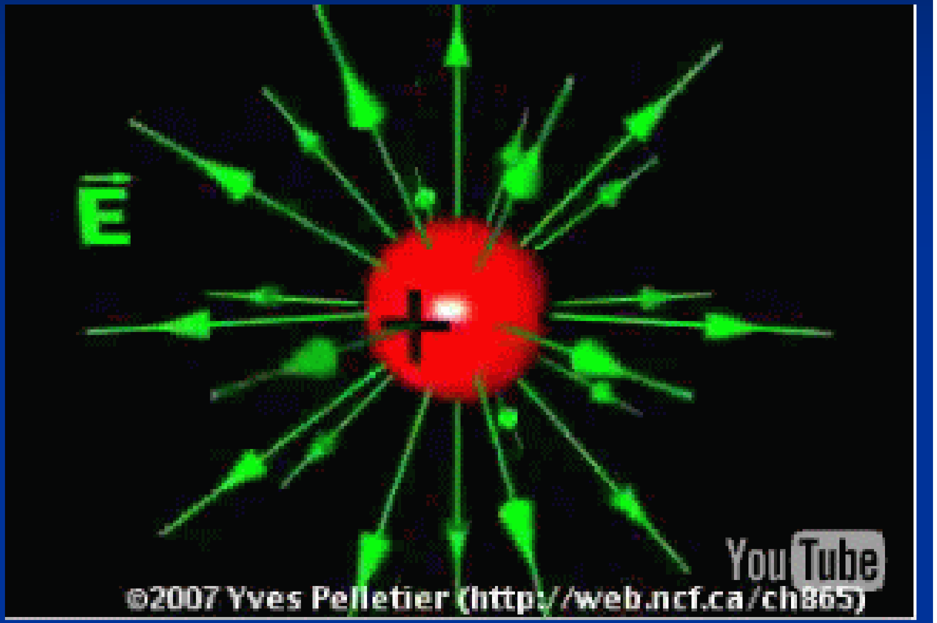
- La líneas de campo nos proporcionan gráficamente la existencia de un campo eléctrico con algunas de sus propiedades
- El vector campo eléctrico **E** es tangente a la línea de campo eléctrico en cada punto
  - La línea de campo tiene una dirección que es la misma que la del vector campo eléctrico
- El número de líneas por unidad de área a través de una superficie perpendicular a las líneas de campo es proporcional a la magnitud del campo eléctrico en esa región

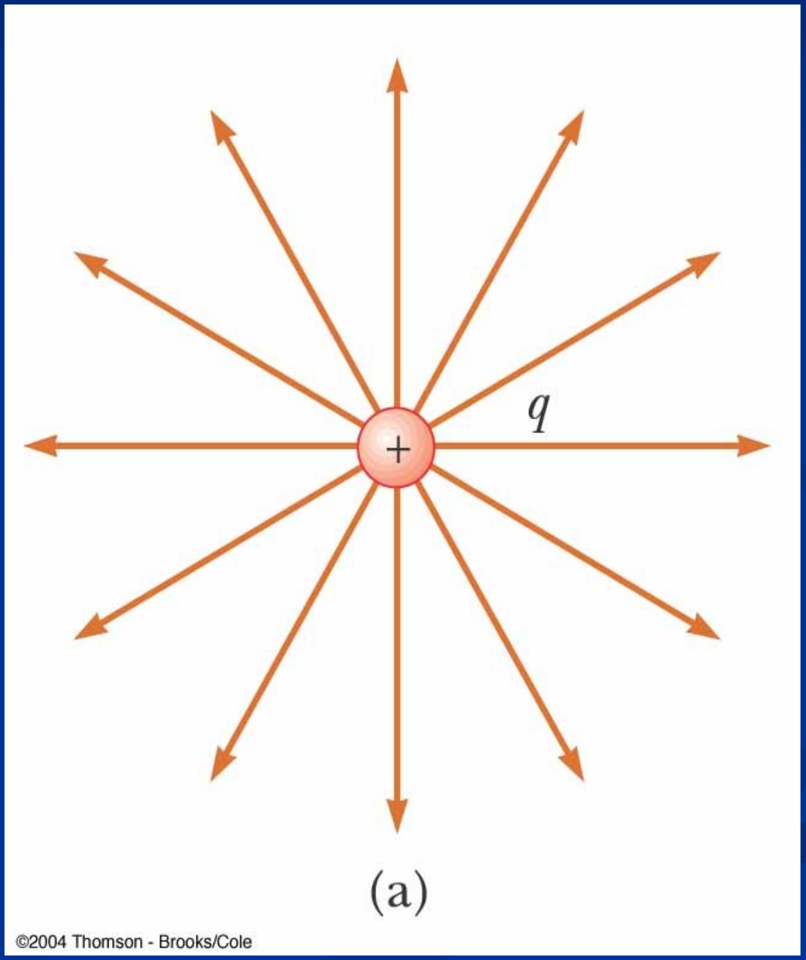
Líneas de campo

- La densidad de líneas de campo de la superficie A es mayor que la de la superficie B
- La magnitud del campo eléctrico es mayor sobre la superficie A que sobre la superficie B
- El campo eléctrico no es uniforme ya que la líneas apuntan en diferente dirección en cada punto



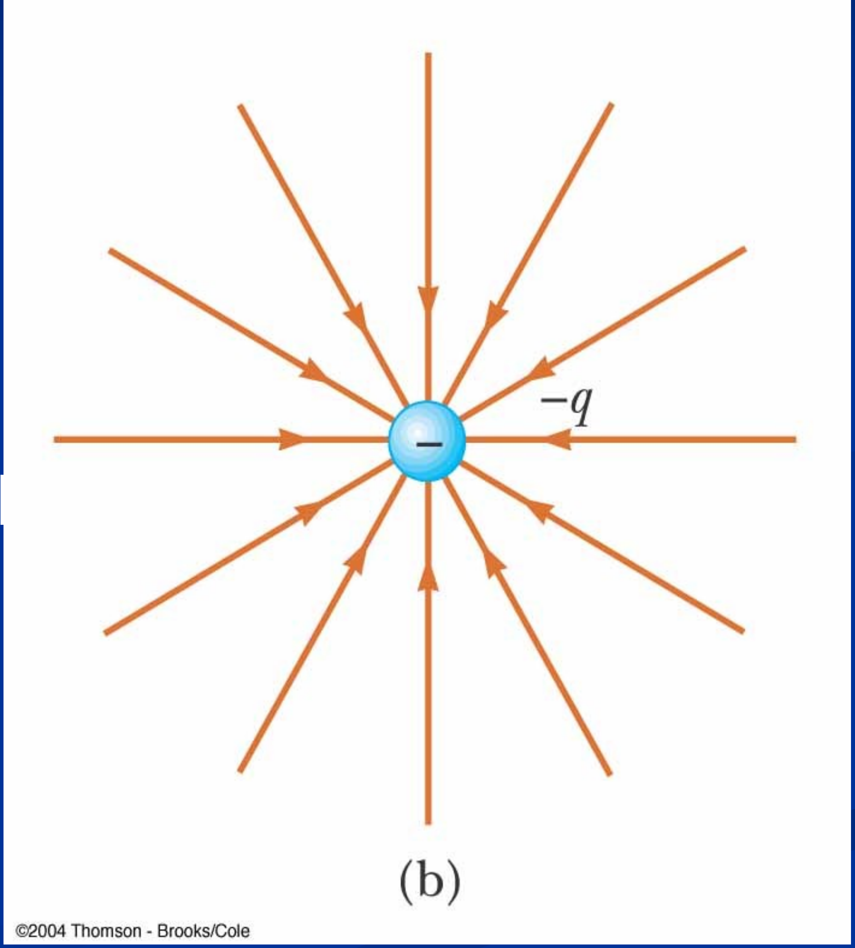
Líneas de campo de una carga positiva





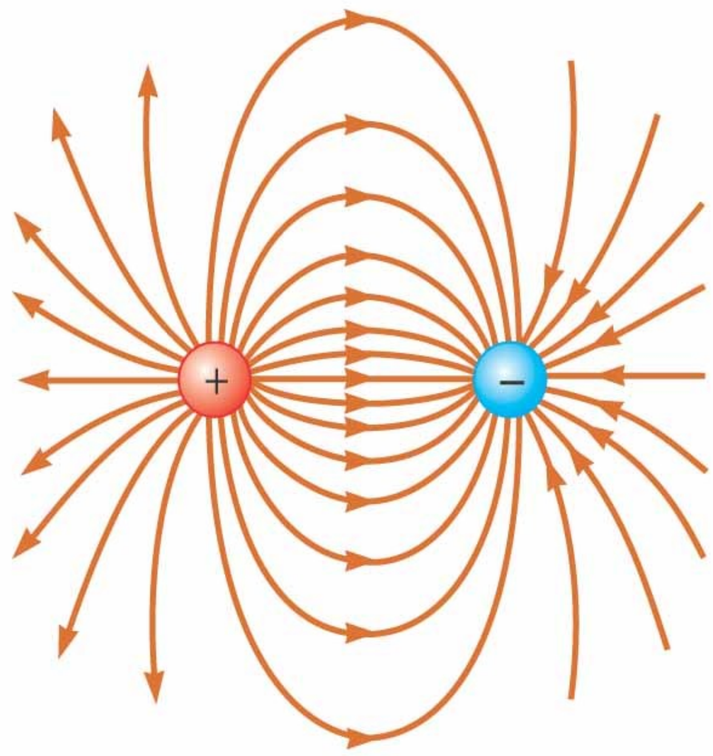
Líneas de campo eléctrico para una carga negativa

- Notar que las dirección de las lineas de campo es la misma que la de l fuerza que experimentaría una carga de prueba (positiva)

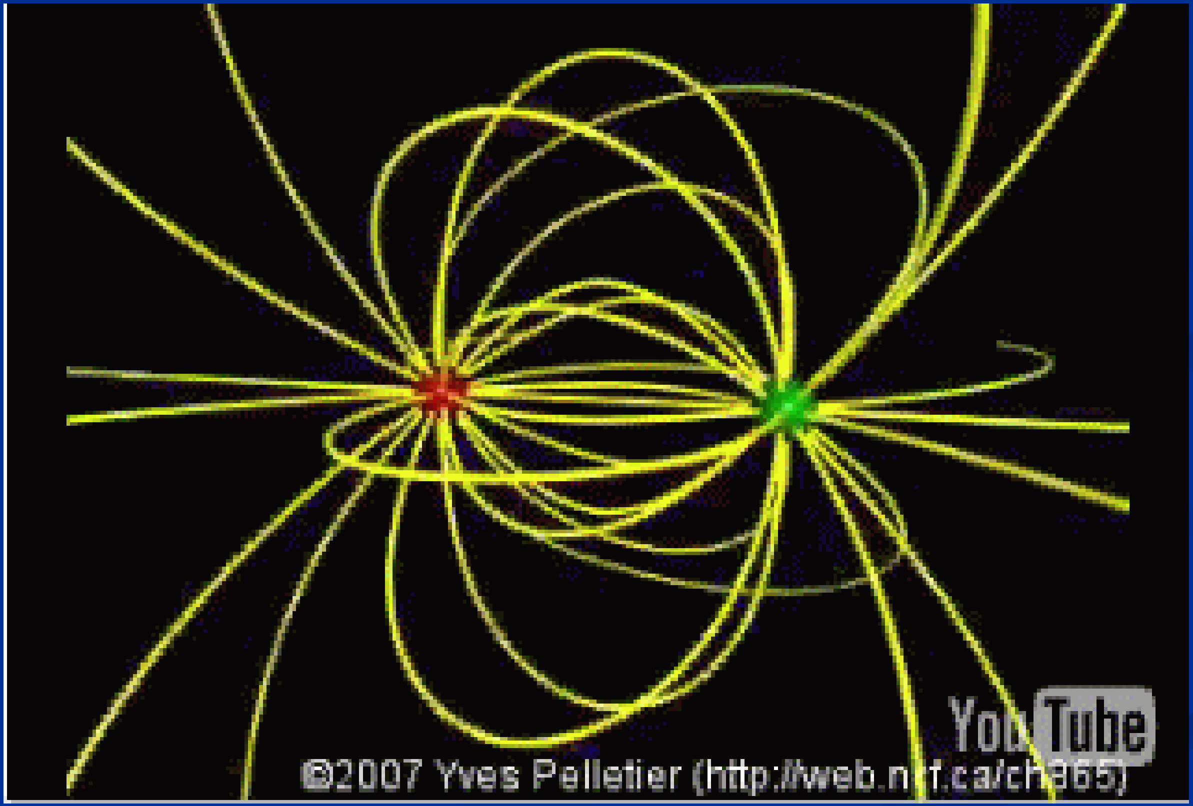


Líneas de campo para un dipolo

- Las cargas son iguales y opuestas
- El número de líneas de campo que parten de la carga positiva es igual al de aquellas que llegan a la carga negativa

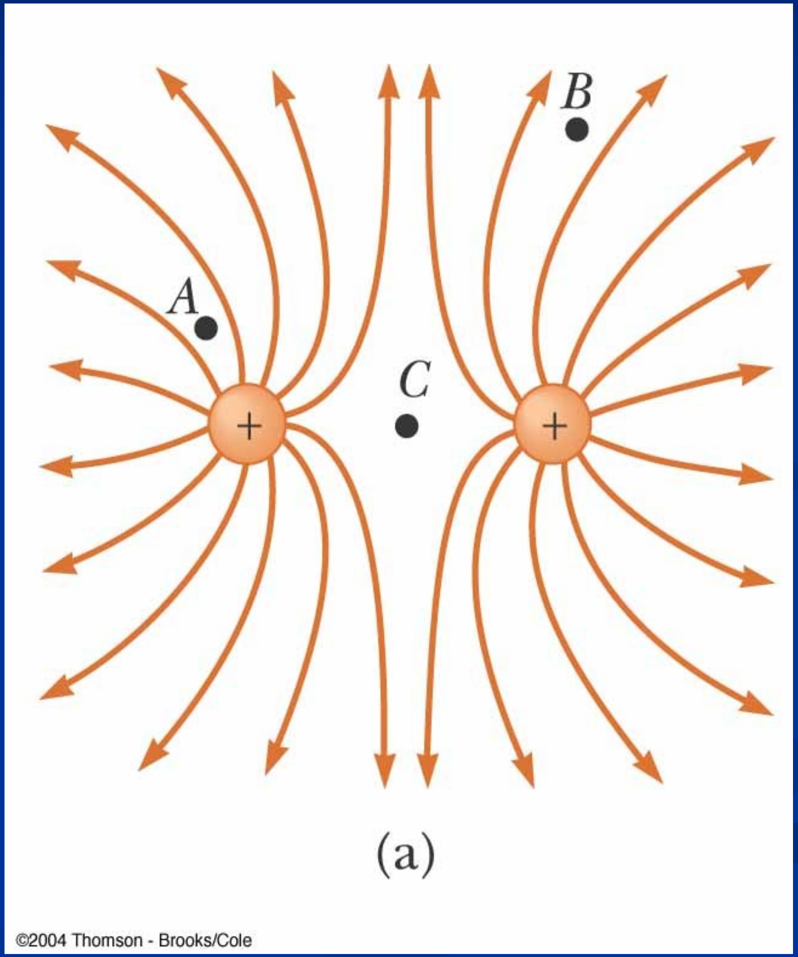


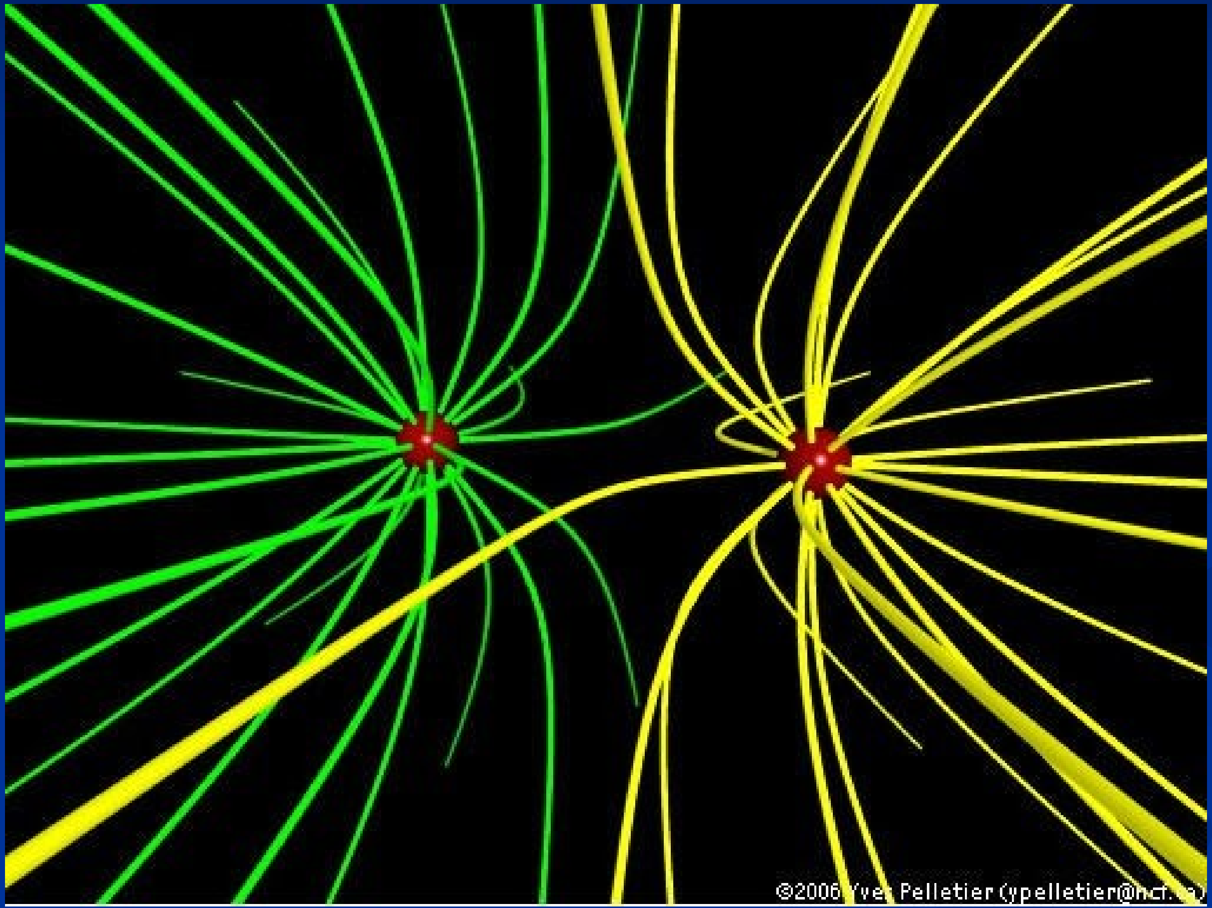
(a)


YouTube
©2007 Yves Pelletier (http://web.net.ca/ch365)

Líneas de campo de cargas iguales (positivas)

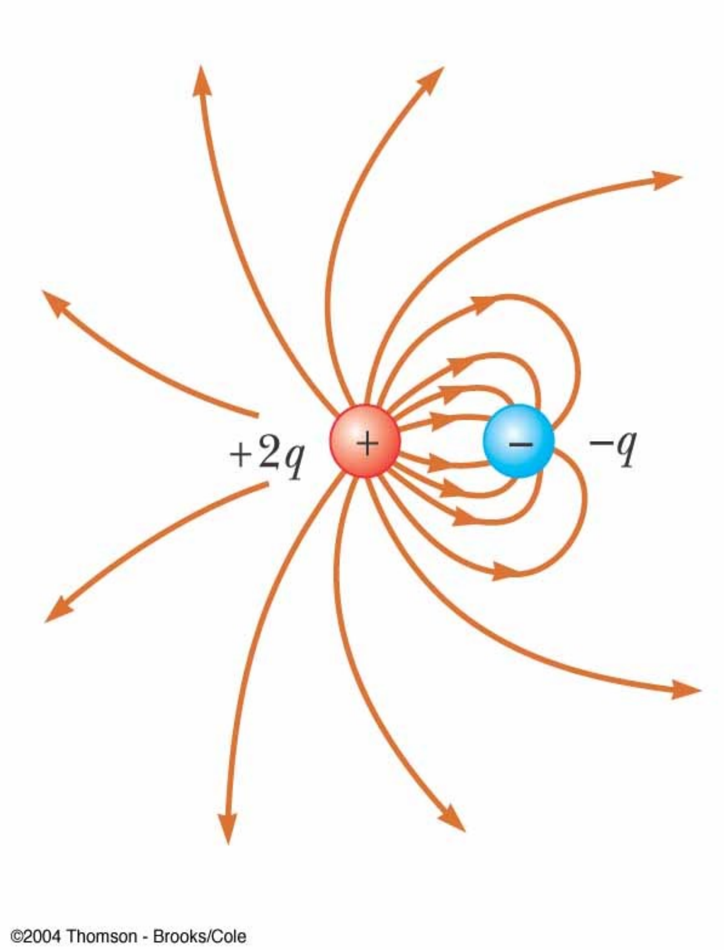
- A una gran distancia el campo es aproximadamente igual al campo de un arreglo de 2 cargas positivas




©2006 Yves Pelletier (ypelletier@hct.ca)

Caso de cargas desiguales

- La carga positiva tiene el doble que la negativa
- Dos líneas de campo dejan la carga negativa por cada una de las líneas que termina en la carga negativa
- A una gran distancia el campo sería aproximadamente el mismo que el debido a una sola carga positiva +*q*



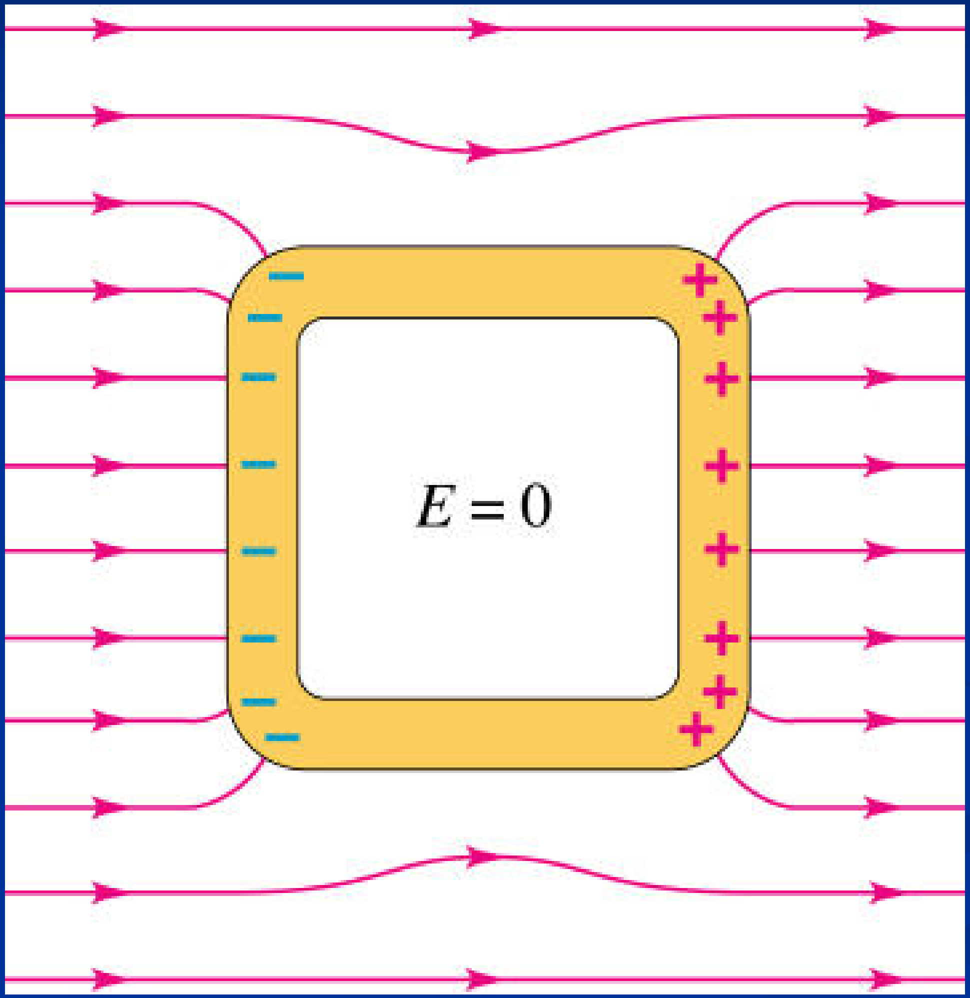
Reglas para dibujar líneas de campo eléctrico

- Las líneas deben partir de una carga positiva y terminar sobre una carga negativa
  - En el caso de un exceso de un tipo de carga, algunas líneas comenzarán o terminarán en el infinito
- El número de líneas que parten de la carga positiva a que llegan a la negativa es proporcional a la magnitud de la carga eléctrica
- Dos líneas de campo nunca se cruzan

Partículas cargadas en campos eléctricos

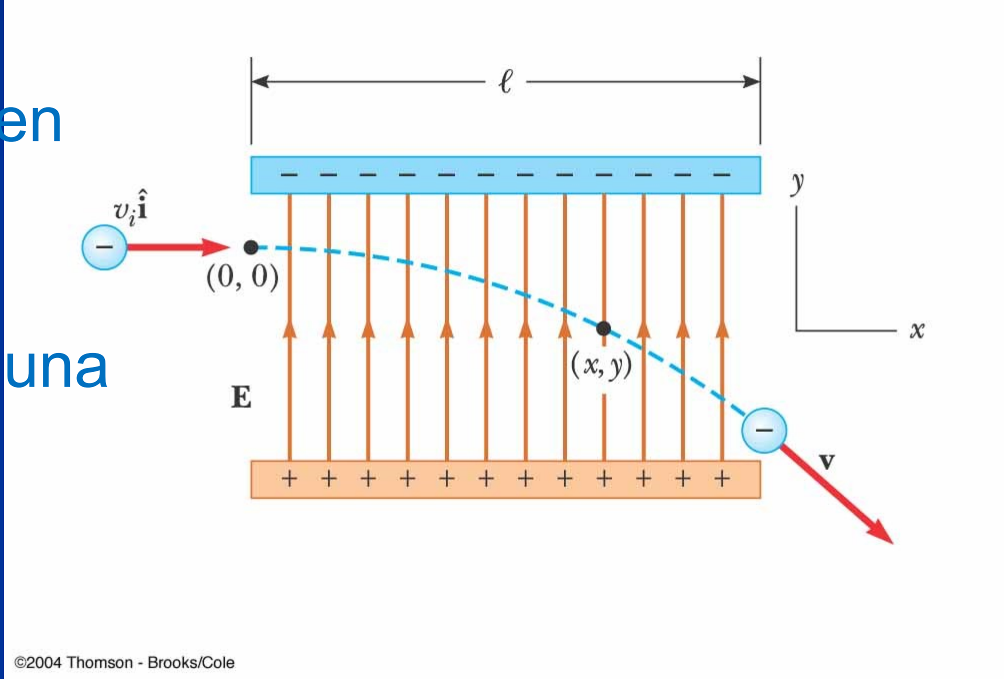
- $\mathbf{F}_e = q\mathbf{E} = m\mathbf{a}$
- Si **E** es uniforme, entonces **a** es constante
- Si la partícula tienen una carga positiva, su aceleración es en la dirección del campo
- Si la partícula tiene una carga negativa, su aceleración es en dirección opuesta a la del campo
- Como la aceleración es constante, las ecuaciones de la cinemática son totalmente válidas.

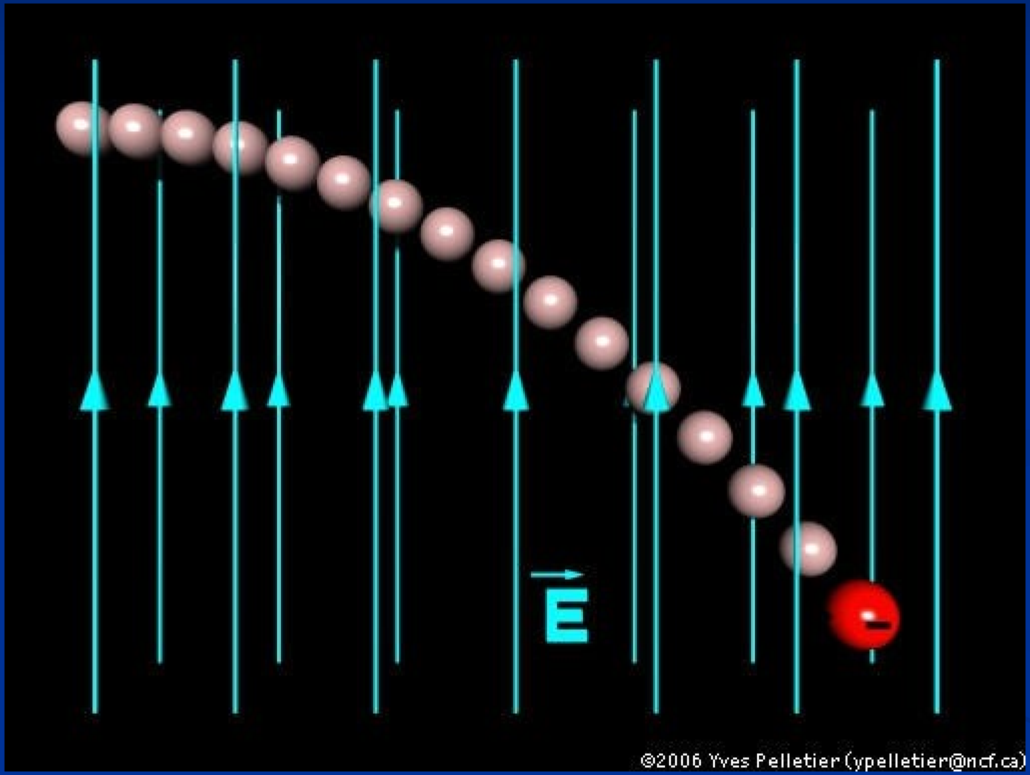
Jaula de Faraday en situación de campo eléctrico:



Electrones en un campo eléctrico uniforme

- Suponga que se lanza un electrón hacia una región en la que existe un campo eléctrico uniforme
- El electrón experimentará una aceleración hacia abajo
  - Esta es negativa, así la aceleración es opuesta al campo **E**
- Su movimiento dentro de los platos obedecerá a la ecuación de una parábola





E
©2006 Yves Pelletier (ypelletier@ncf.ca)

Tubo de rayos catódicos (CRT)

- Un CRT se usa comunmente para mostrar imágenes de información electrónica en osciloscopios, sistemas de radar, televisores, etc.
- El CRT es un tubo al vacío en el que un haz de electrones se acelera y deflecta por la acción de campos eléctricos y magnéticos

CRT, cont

- Los electrones son deflectados en varias direcciones por dos conjuntos de pacas
- Por la acción de carga sobre las placas, se cea el campo eléctrico que permite la movilidad del haz