

Física II.

Unidad 2. El campo eléctrico.

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



Campo eléctrico, definición

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

Campo eléctrico, definición

- 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, \mathbf{E} , en un punto en el espacio se define como la fuerza eléctrica, \mathbf{F} , que actúa sobre una carga positiva*, q_0 colocada en ese punto y dividida por el valor de la carga de prueba: $\mathbf{E} = \mathbf{F}_e / q_0$

** No es forzoso que la denominada carga de prueba sea positiva (y pequeña)*

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 prueba 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 (*por eso se requiere que sea una carga pequeña*).

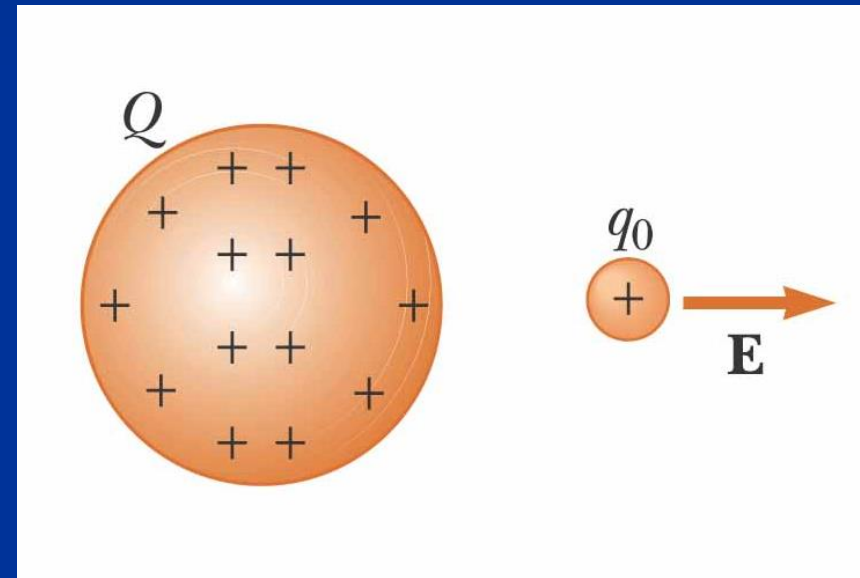
2.1 Campo eléctrico generado por cargas puntuales.

Relaciones entre F y E

- $F_e = q E$
 - Válido 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 \mathbf{E} es la de la fuerza sobre una carga de prueba positiva
- Las unidades SI para \mathbf{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 vectorial de un campo eléctrico (cargas puntuales)

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

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

- Entonces, el campo será

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

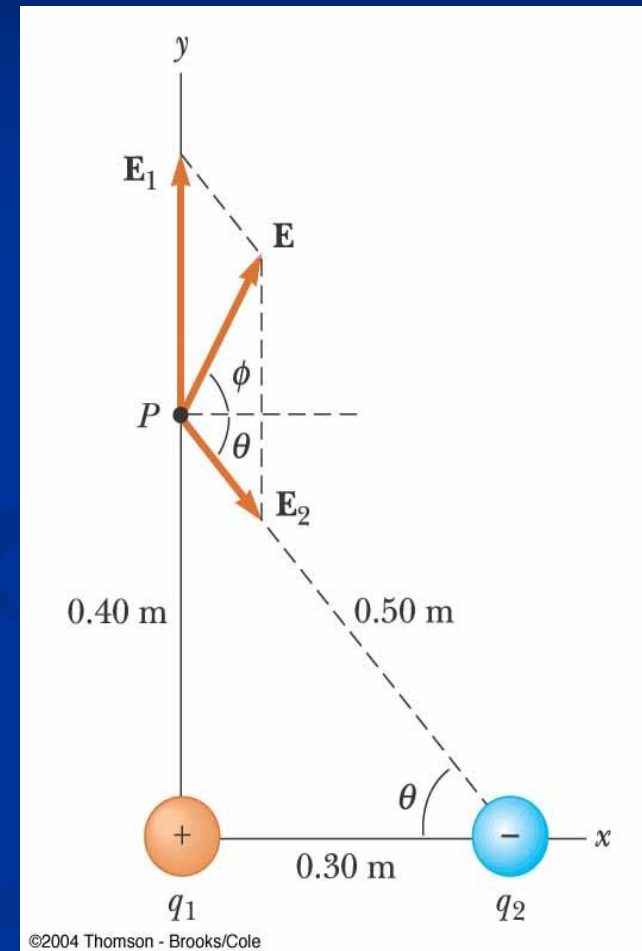
2.1 Principio de superposición de E

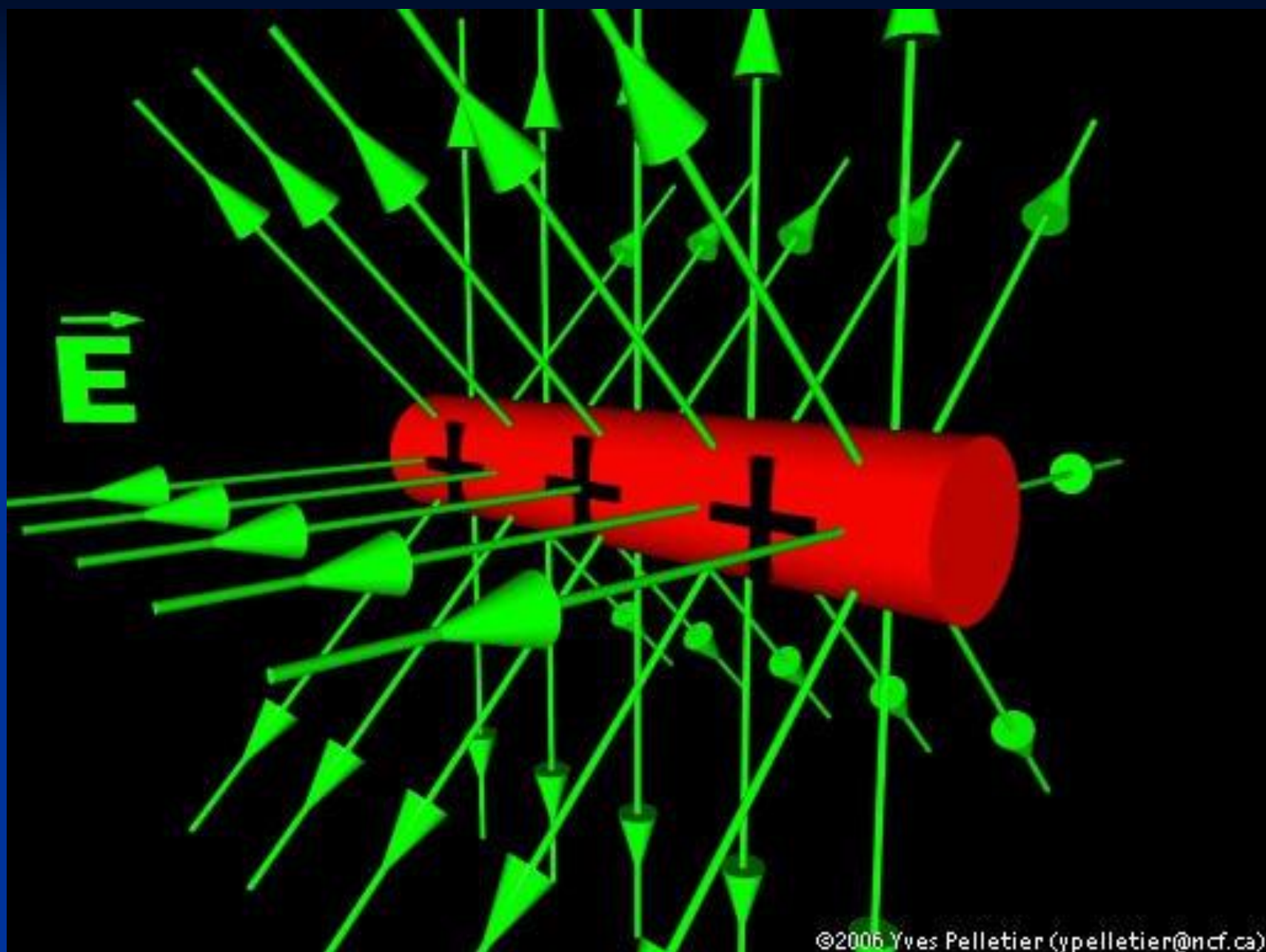
- Para un punto P , el campo eléctrico total es la ***suma vectorial*** de todos los campos eléctricos que producen cada una de las cargas fuente

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

Ejemplo de superposición

- Encontrar el campo eléctrico debido a q_1 , E_1
- Encontrar el campo eléctrico debido a q_2 , E_2
- $E = E_1 + E_2$
 - 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



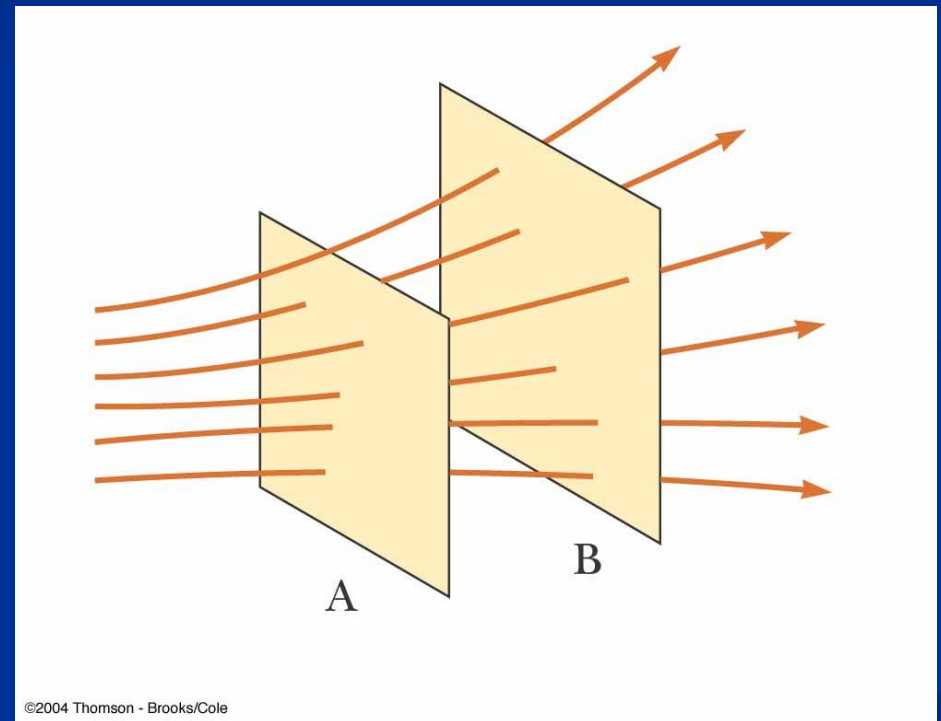


Líneas del vector campo eléctrico

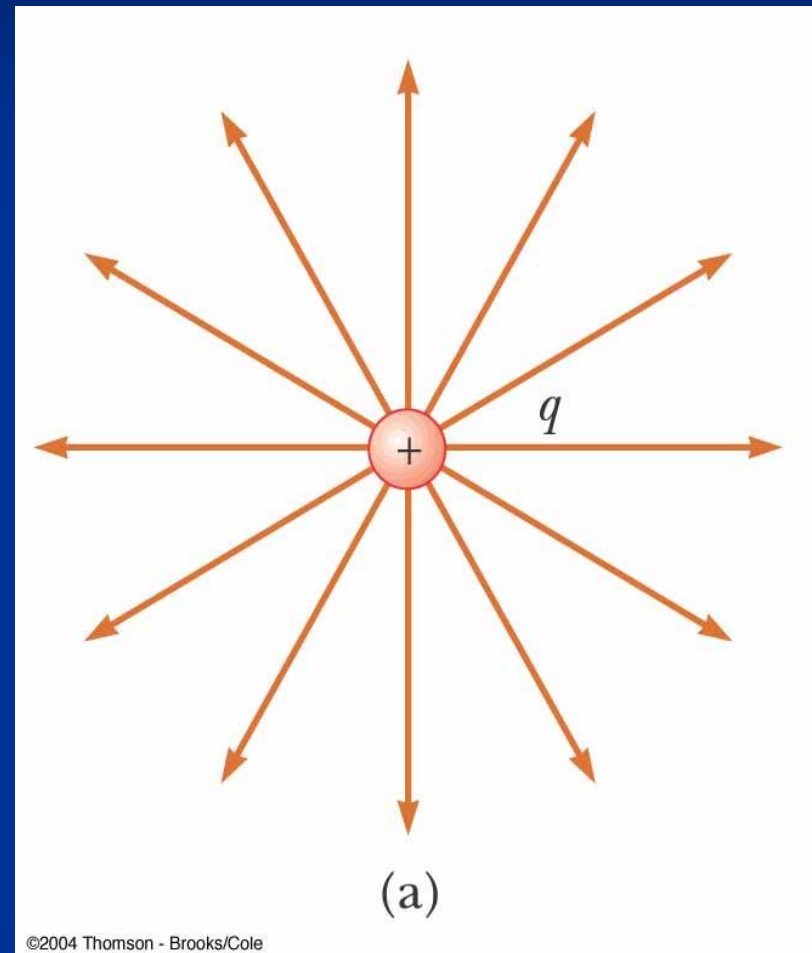
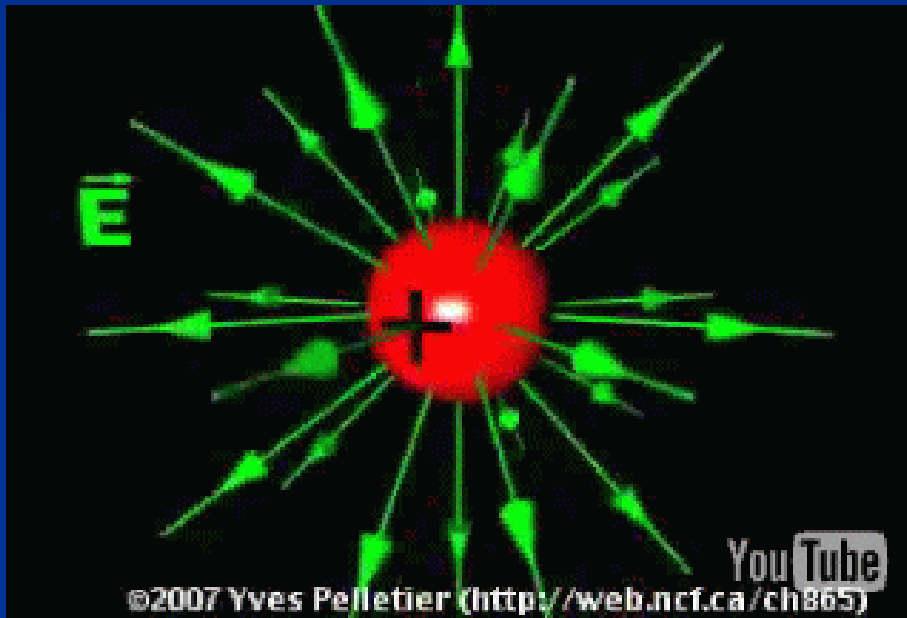
- Las líneas de campo nos proporcionan gráficamente la existencia de un campo eléctrico con algunas de sus propiedades
- El vector campo eléctrico E es tangente a la línea de campo eléctrico en cada punto
 - La línea de campo tiene una dirección que es la misma que la del vector campo eléctrico
- El 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 del vector campo eléctrico

- 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

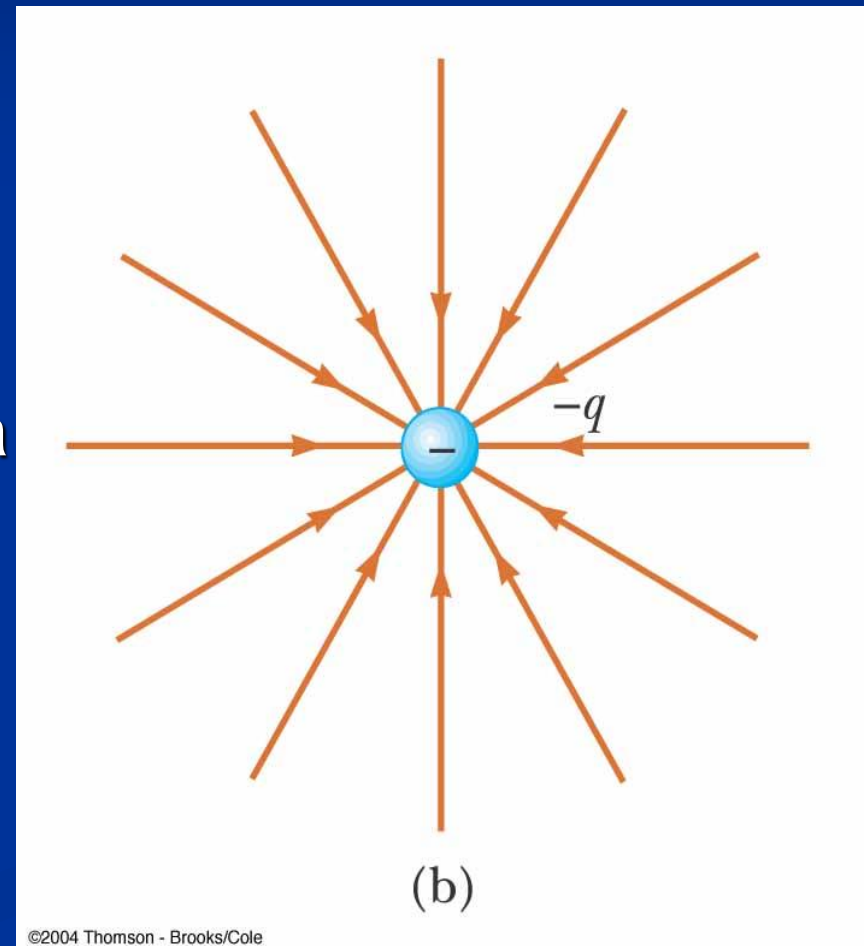


Líneas de campo de una carga positiva



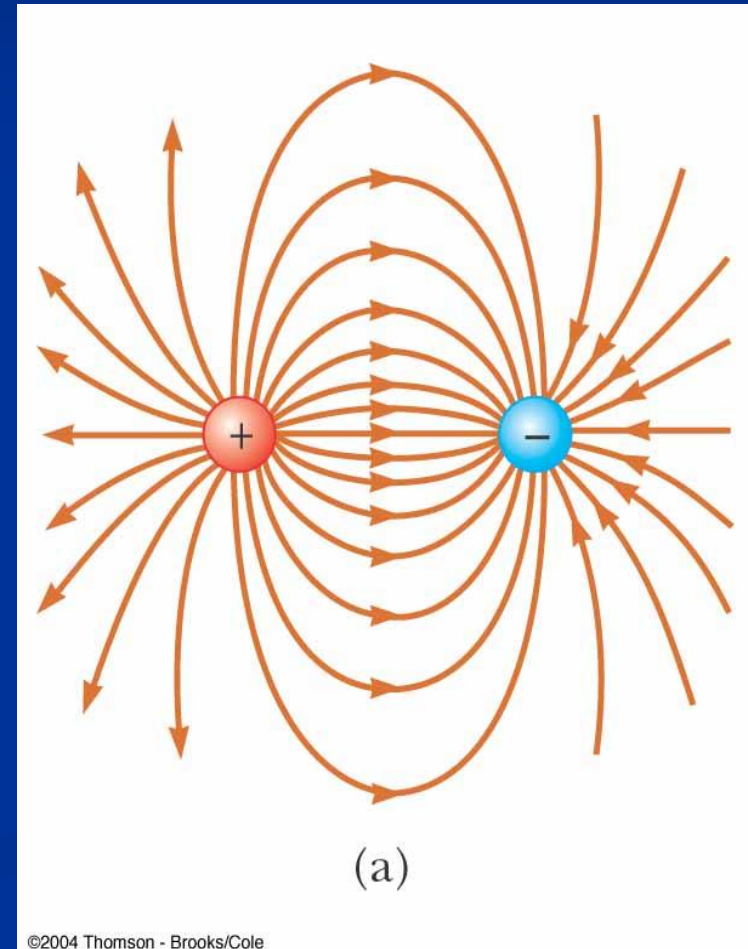
Líneas de campo eléctrico para una carga negativa

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

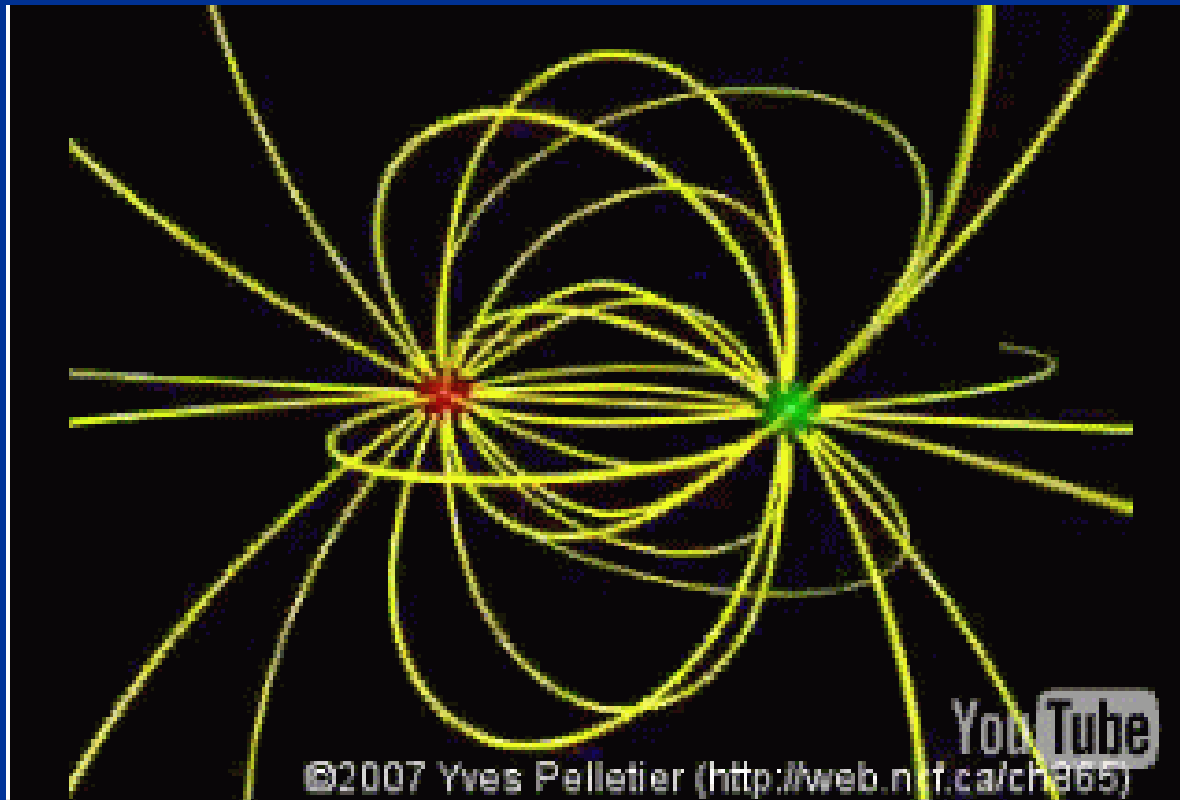


2.3 El campo eléctrico generado por un dipolo. Líneas de campo para un dipolo

- 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

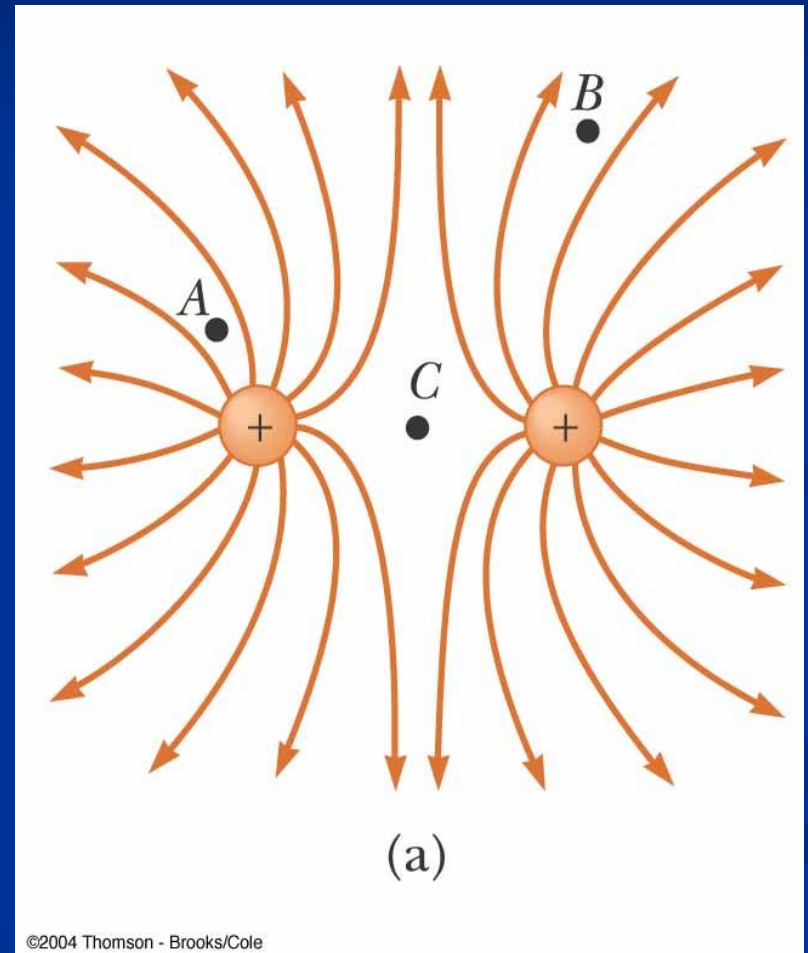


Líneas de campo para un dipolo 3 - D

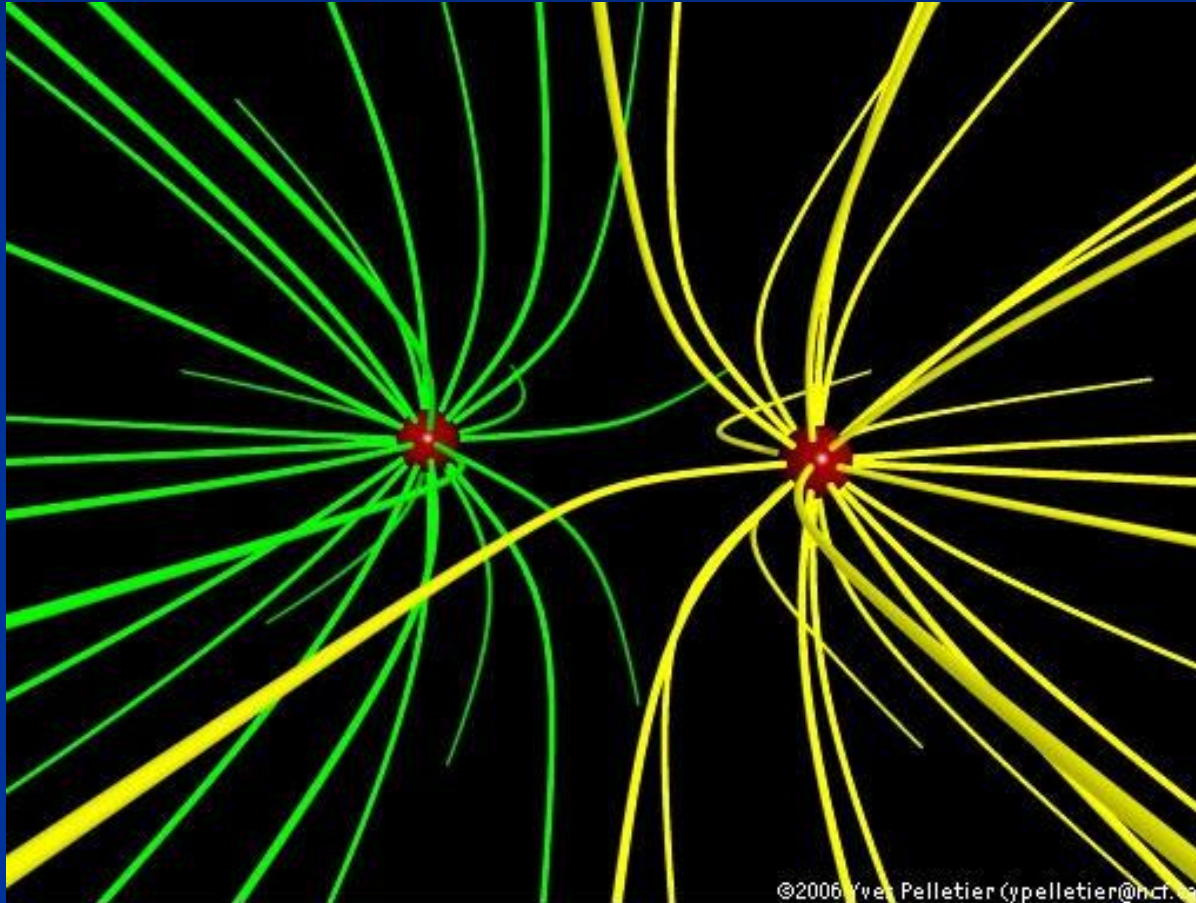


Líneas de campo de cargas iguales (positivas)

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

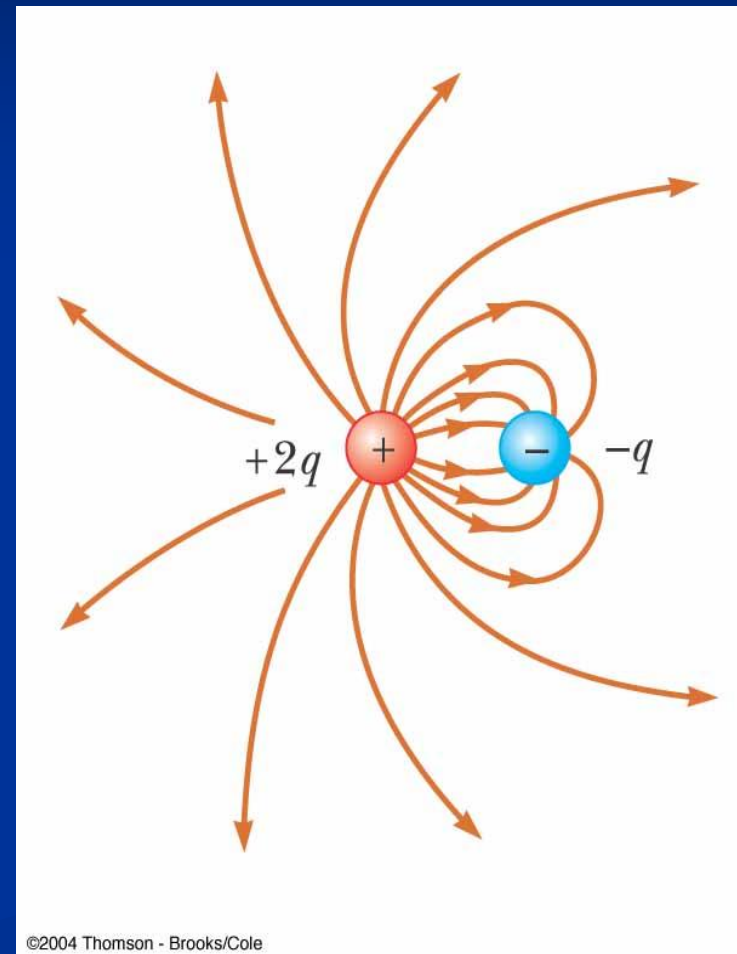


Líneas de campo de cargas iguales (positivas)



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 y que llegan a la negativa es proporcional a la magnitud de la carga eléctrica
- Dos líneas de campo nunca se cruzan

Ejemplo de superposición

La distribución de cargas eléctricas en una nube de tormenta puede aproximarse más o menos mediante varias cargas de partículas puntuales colocadas a diferentes alturas.

PROBLEMA

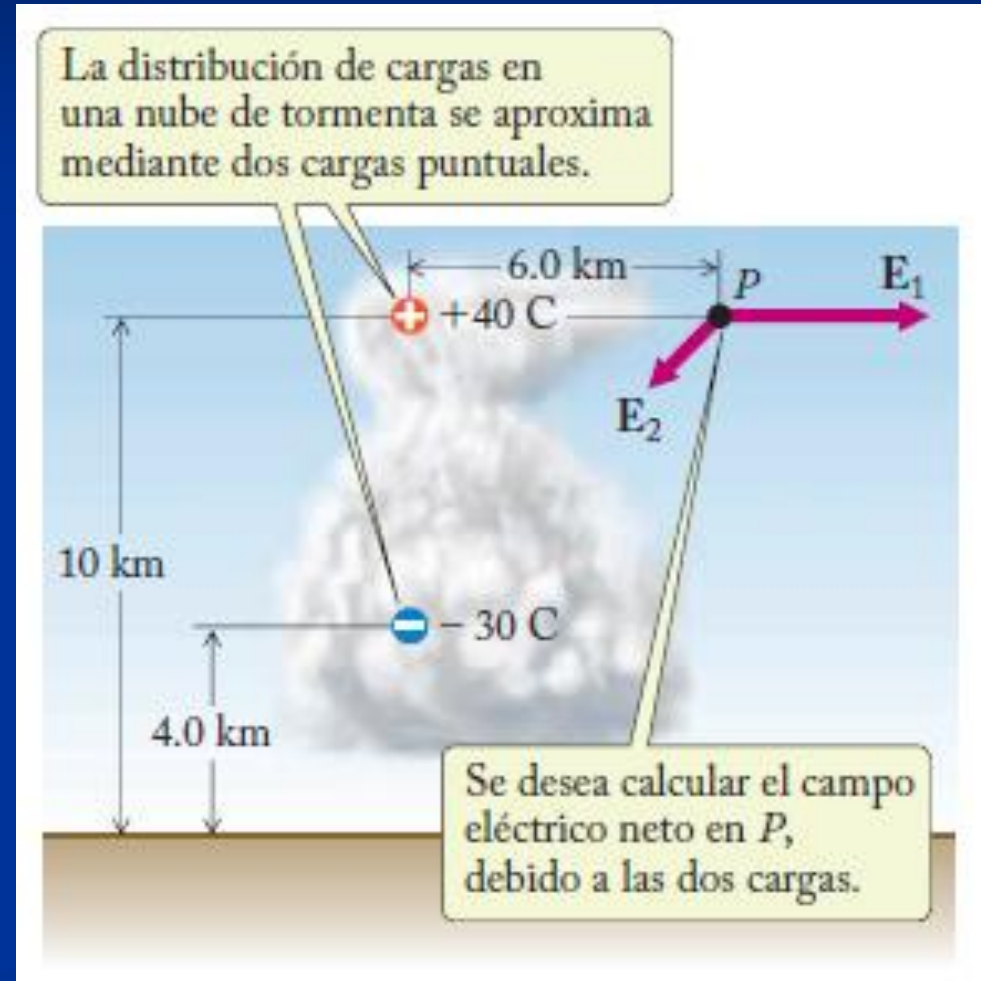
Dentro de una nube se tiene una distribución aproximada de cargas de la siguiente forma: una carga de $+40\text{ C}$ a 10.0 km de altura, y una carga de -30 C a 4.0 km de altura.

- ❖ **¿Cuáles son las componentes horizontal y vertical del campo eléctrico producido por las dos cargas, en un punto P a 10.0 km de altura, y a una distancia de 6.0 km a la derecha?**
- ❖ **¿Cuál es la magnitud de este campo en ese punto?**

PROBLEMA

Dentro de una nube se tiene una distribución aproximada de cargas de la siguiente forma: una carga de $+40\text{ C}$ a 10.0 km de altura, y una carga de -30 C a 4.0 km de altura.

- ¿Cuáles son las componentes horizontal y vertical del campo eléctrico producido por las dos cargas, en un punto P a 10.0 km de altura, y a una distancia de 6.0 km a la derecha?
- ¿Cuál es la magnitud de este campo en ese punto?

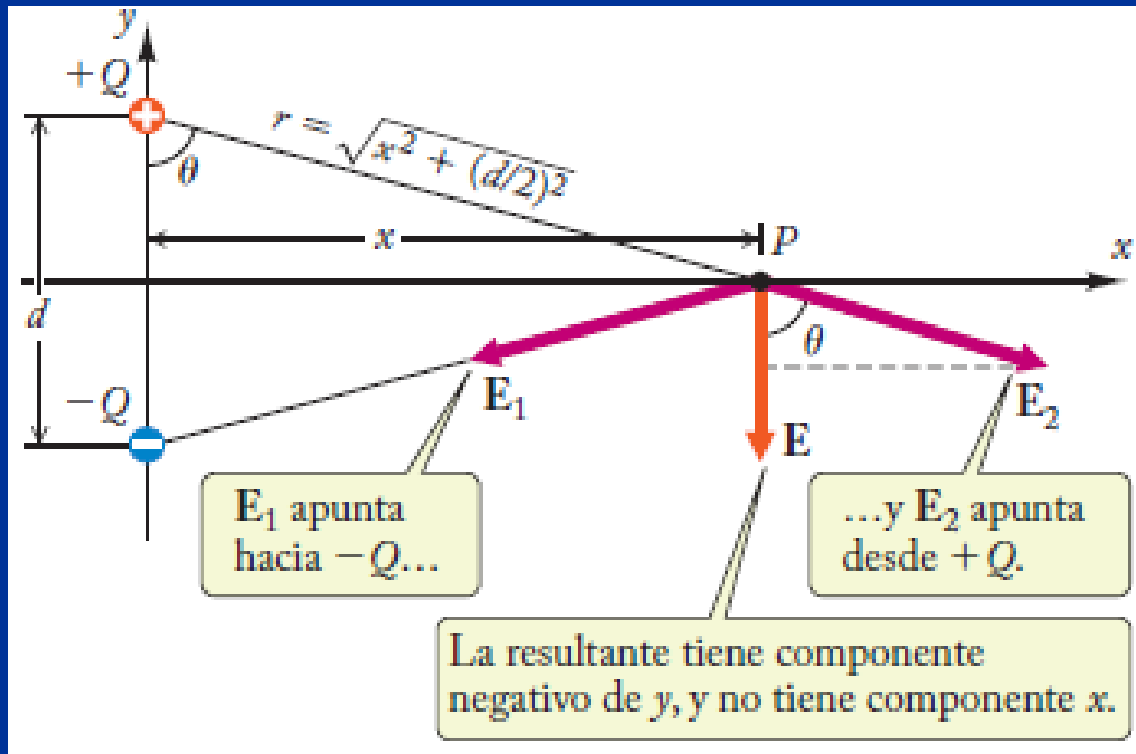


2.3 El campo eléctrico generado por un dipolo.

Se tienen dos cargas de magnitudes iguales y signos contrarios, $\pm Q$, separadas por una distancia d . Este arreglo se llama dipolo eléctrico.

a) Calcular el campo eléctrico en un punto equidistante a las dos cargas, a una distancia x de su punto medio.

b) ¿Cuál es la dependencia de este campo dipolar y la distancia, para $x \gg d$?



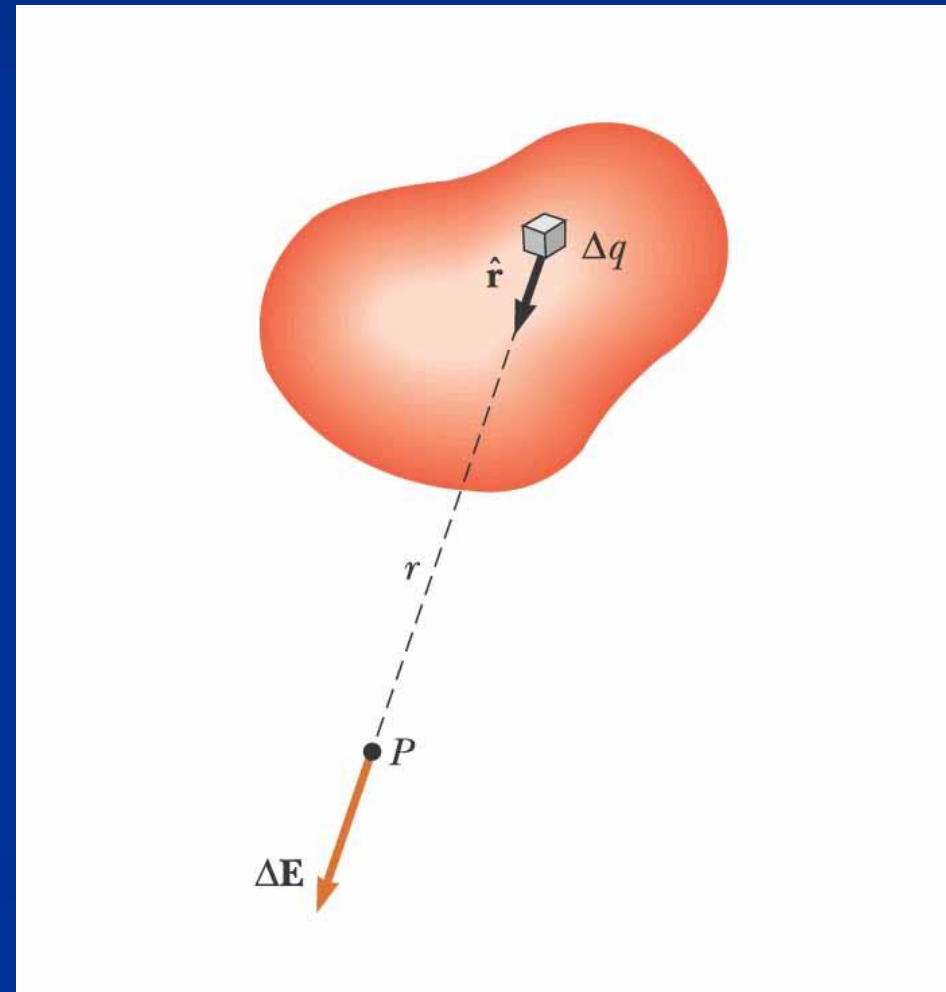
$$b) E = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qd}{x^3}$$

2.2 Campo eléctrico para distribuciones continuas 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 continuo
- 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 continua 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 continua (homogénea)

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

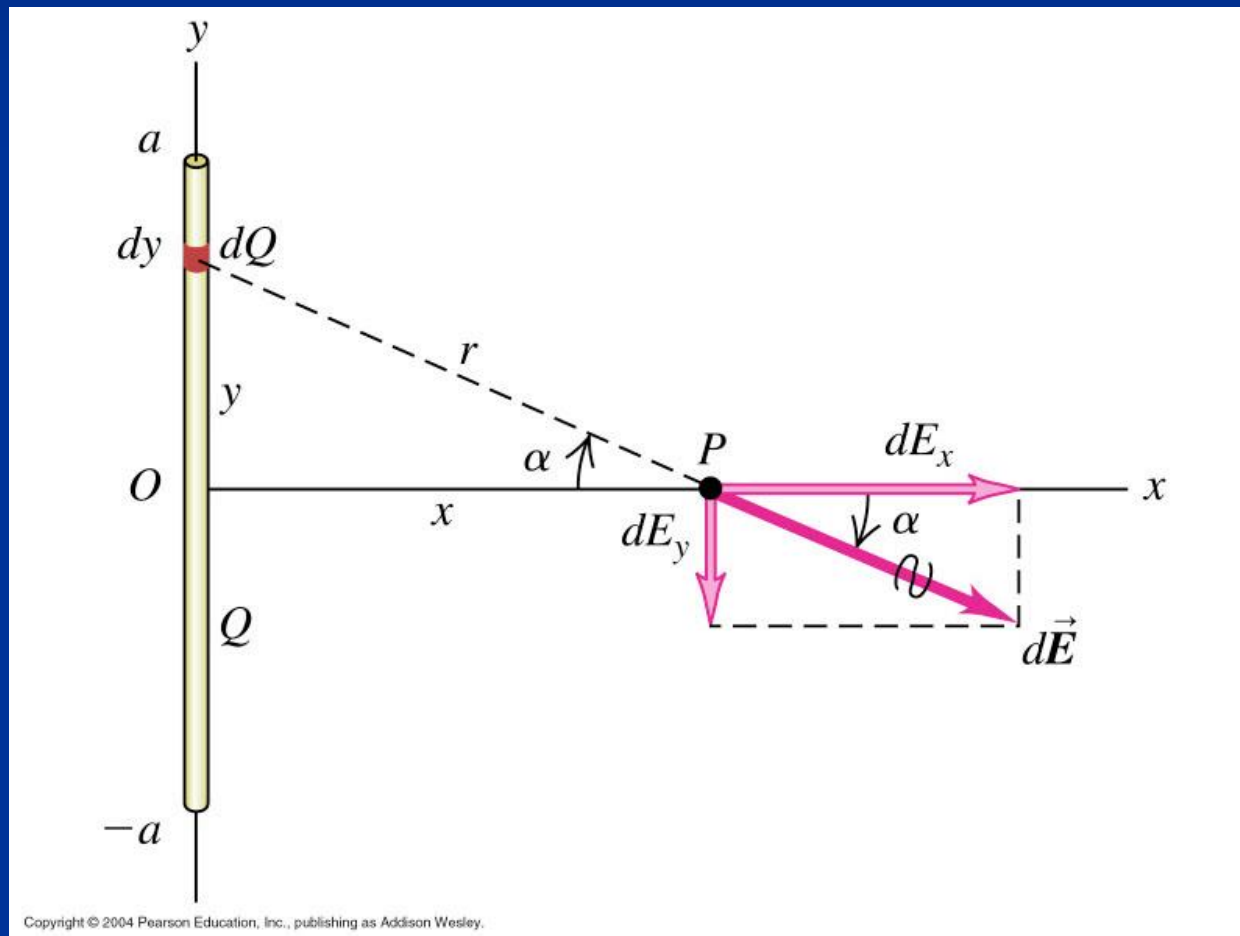
Densidades de carga

- **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
 - $\lambda = Q / \ell$

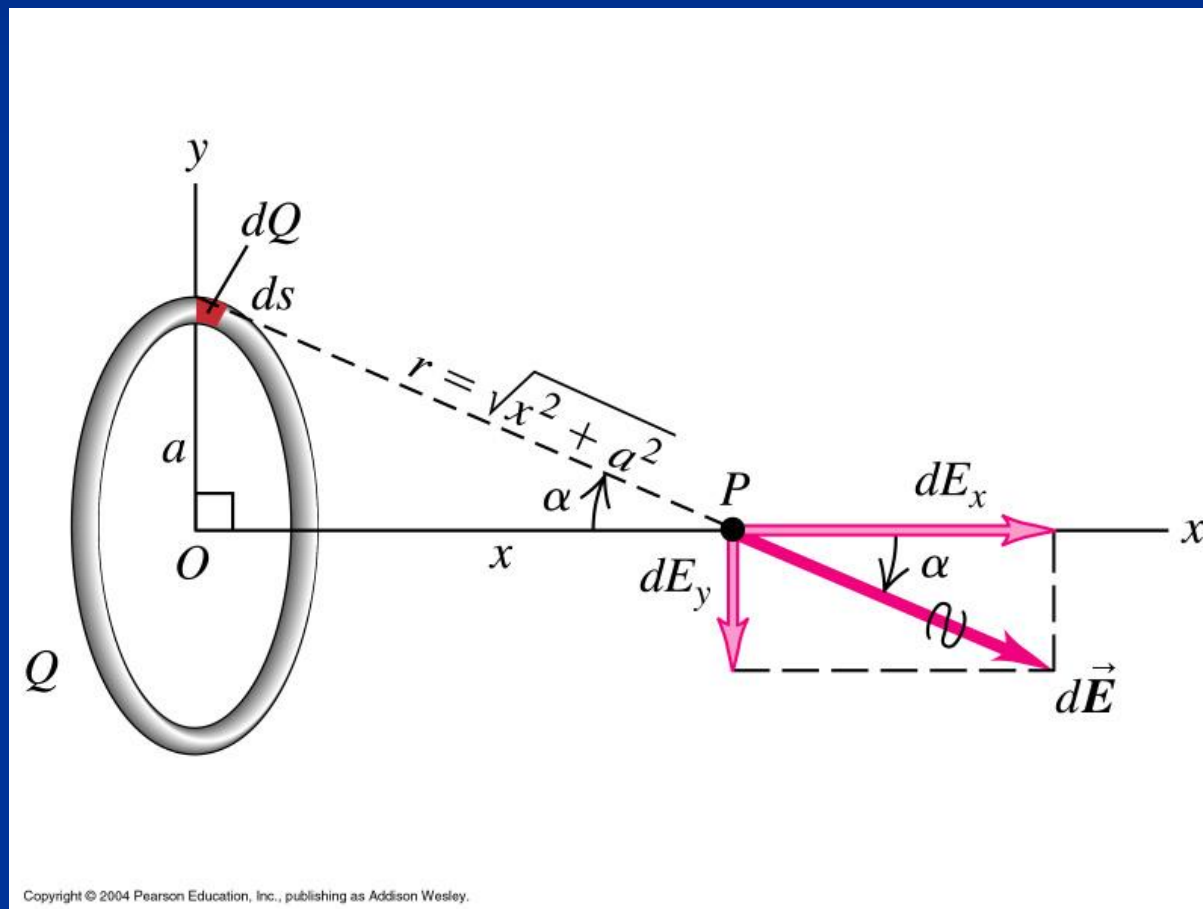
Elementos de carga de estas distribuciones

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

Ejemplo: Determinación del campo producido por una barra conductora continua, con carga positiva.

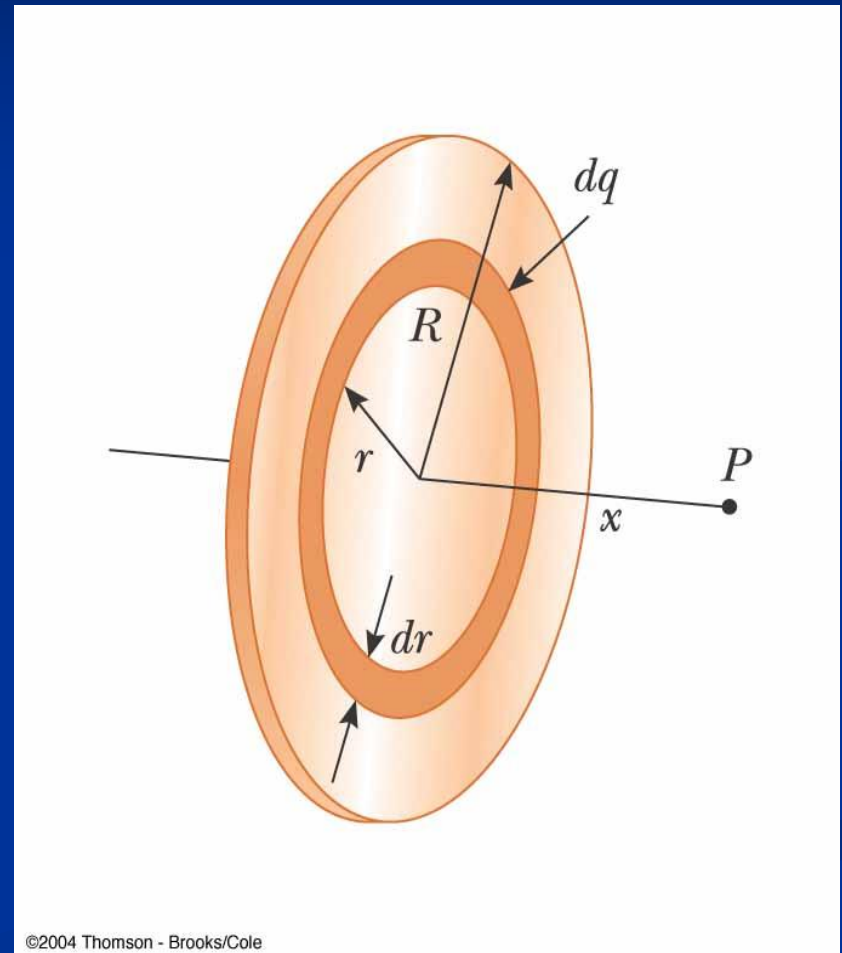


Ejemplo: Determinación del campo producido por un anillo continuo, con carga positiva.



Un disco cargado

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

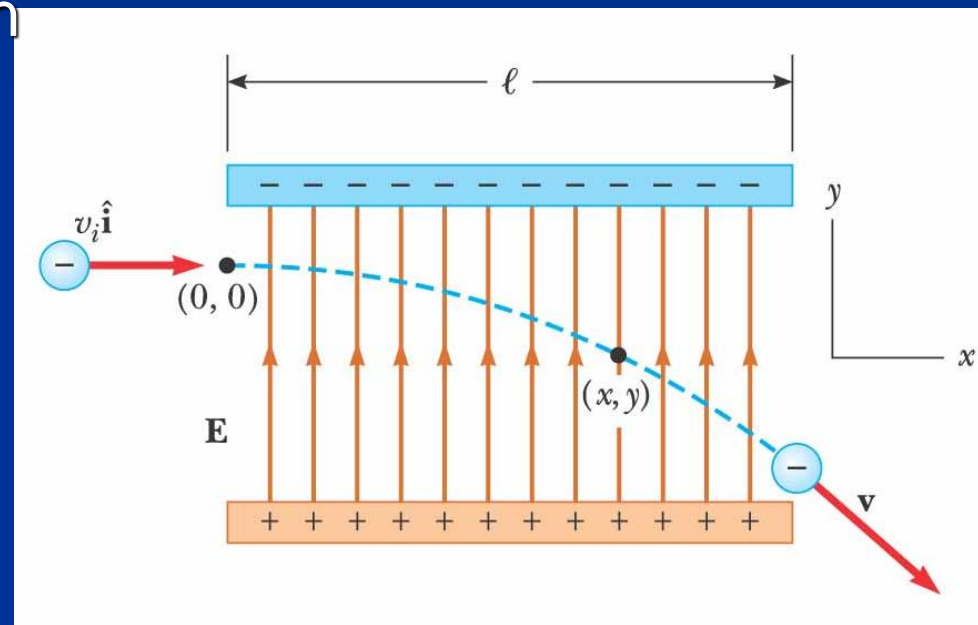


2.4 Movimiento de cargas originado por campos eléctricos

- $F_e = qE = ma$
- 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.

Ejemplo: Electrón 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



Ejemplo: Electrón en un campo eléctrico uniforme

Simulación numérica

