UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CAMPO ELECTRICO

CURSO: **FISICA III**

DOCENTE: MAG. OPTACIANO VÁSQUEZ GARCÍA

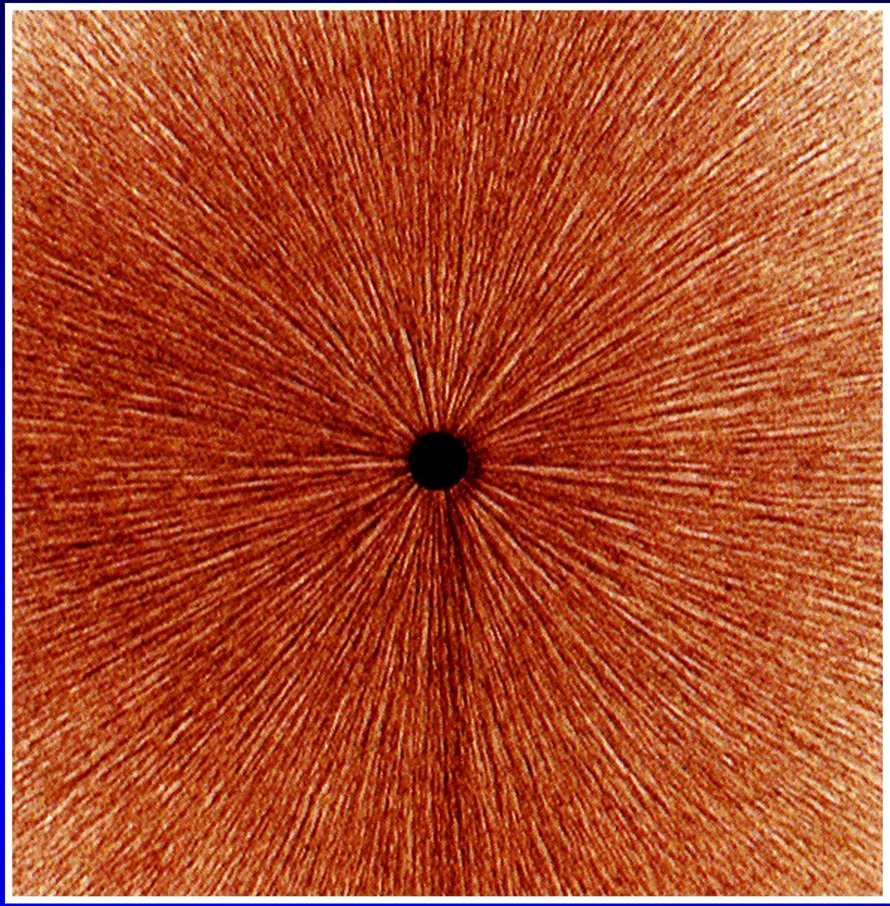
HUARAZ – PERÚ
2010

I. INTRODUCCIÓN

2.1 CAMPOS ESCALARES Y VECTORIALES

¿A qué llamamos campo?

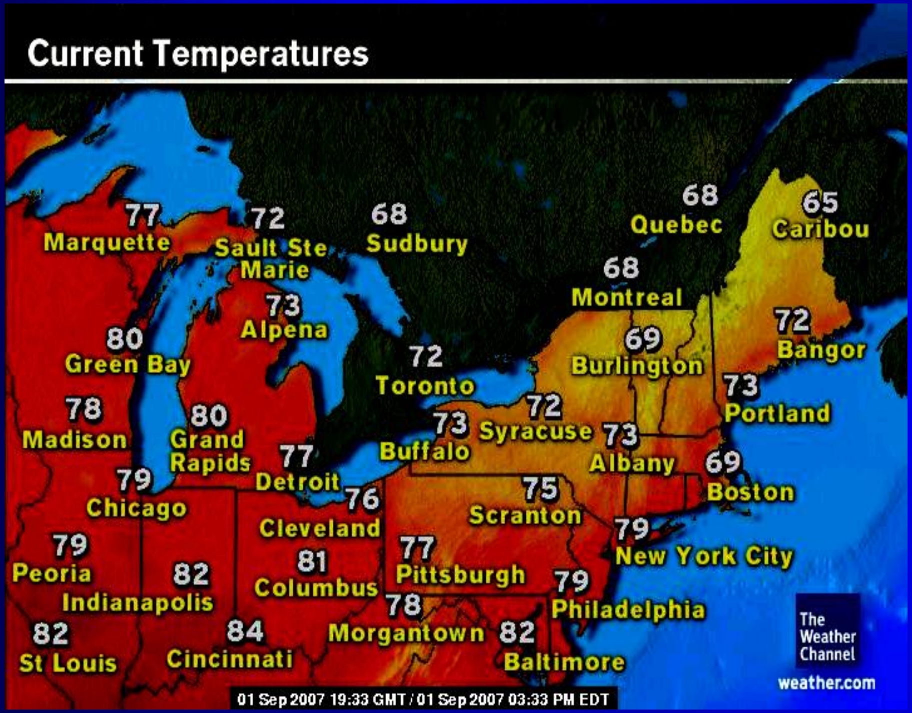
- Región del espacio influenciado por algún fenómeno, por ejemplo: temperatura, gravedad, campo eléctrico, campo magnético, etc

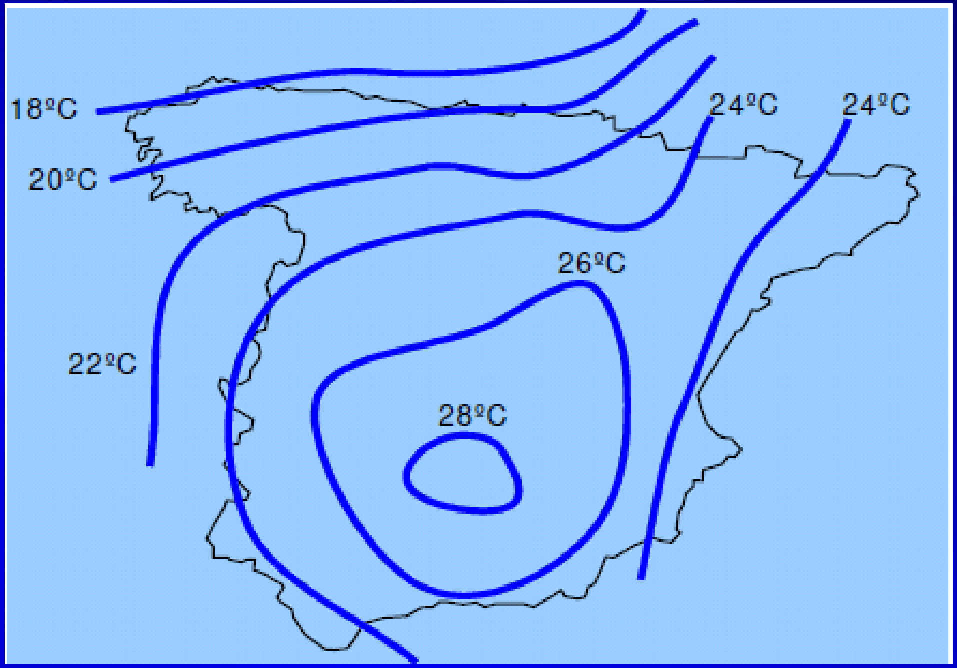


2.1.1CAMPOS ESCALARES: La temperatura

La temperatura, es una función escalar es decir en todo punto del espacio existe una temperatura única en un tiempo *t*, expresada por la función

$$T(x, y, z, t)$$





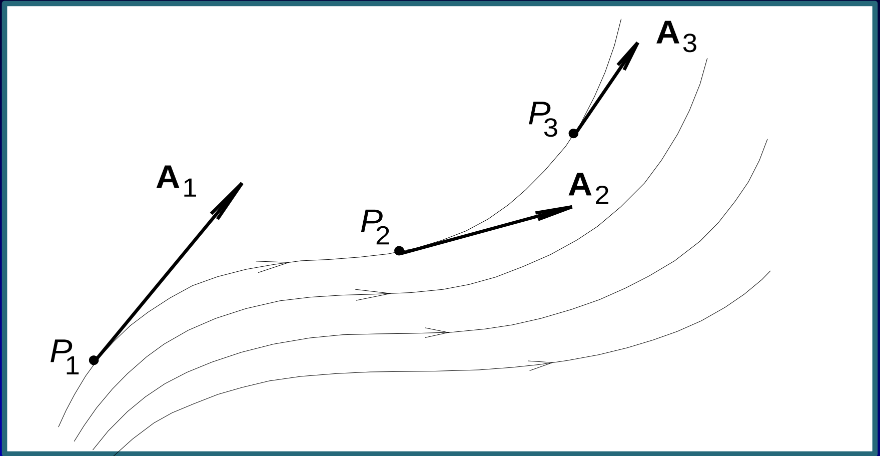
2.1.1CAMPOS ESCALARES :La densidad

La densidad, es una función escalar es decir en todo punto del espacio existe una densidad única en un tiempo *t*, expresada por la función

$$\rho(x, y, z, t)$$

2.1.2 CAMPOS VECTORIALES: La velocidad

Campos vectoriales son aquellos a los que se le asocia un vector único en el espacio

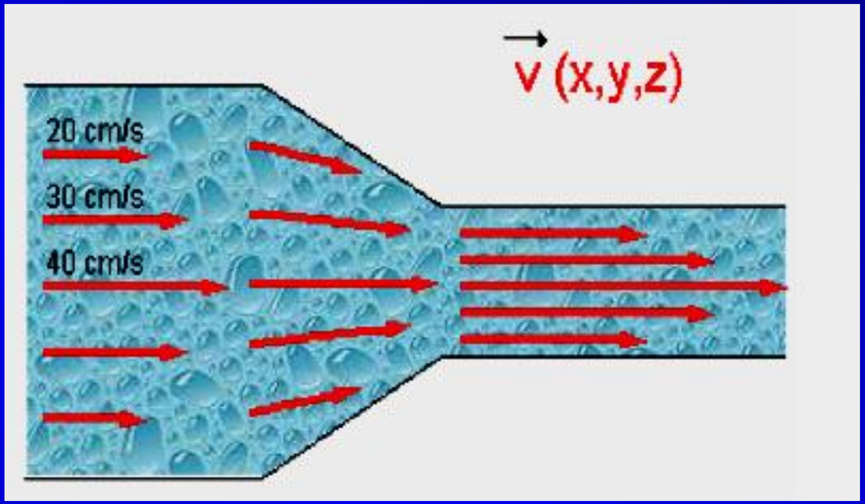


VELOCIDAD DEL VIENTO:

En cada punto de la atmósfera el aire tendrá una velocidad, cuyas componentes son funciones de la posición y del tiempo, esto es.

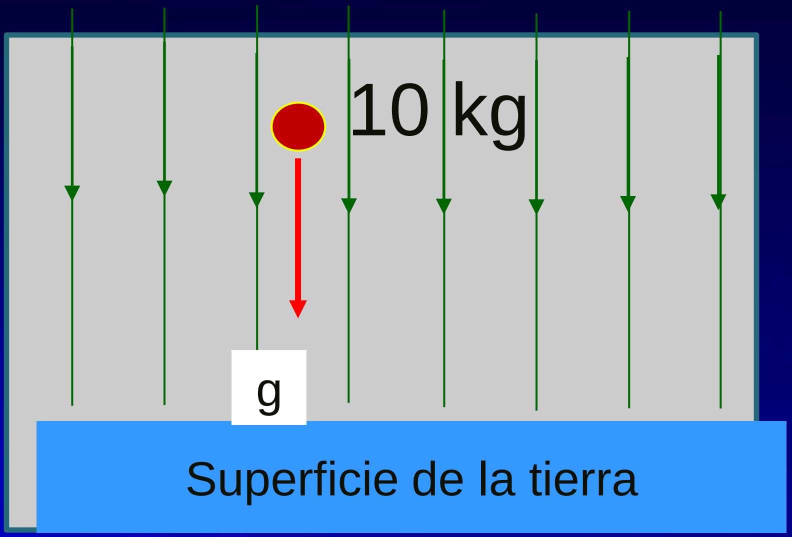
Vx(x,y,z,t)	Vy(x,y,z,t)	Vz(x,y,z,t)

O la velocidad de un fluido en la tubería



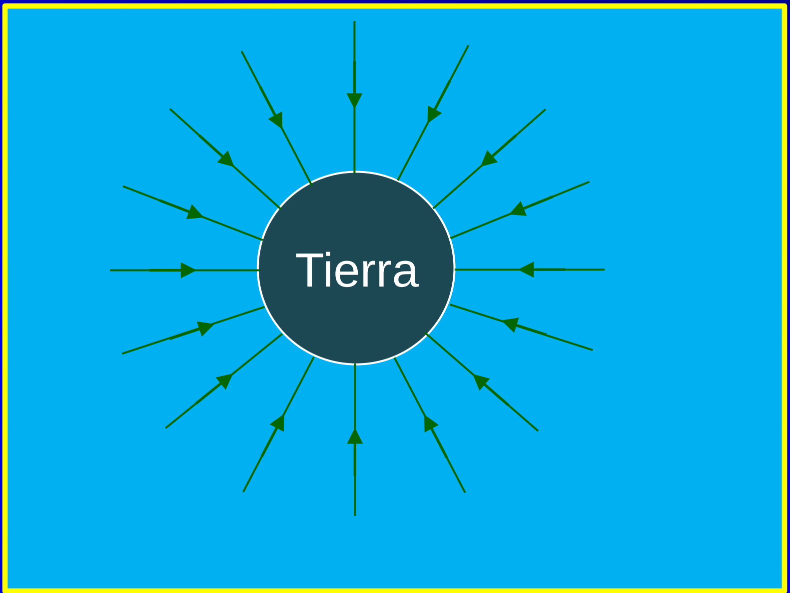
2.1.2 Campos vectoriales: Campo gravitacional

- Cuando una masa *m* se coloca en el espacio circundante por ejemplo la tierra experimenta una atracción por tanto allí existe un campo gravitacional.



- El campo gravitacional es en este caso la gravedad

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m} = \vec{g}\left(x, y, z, t\right)$$



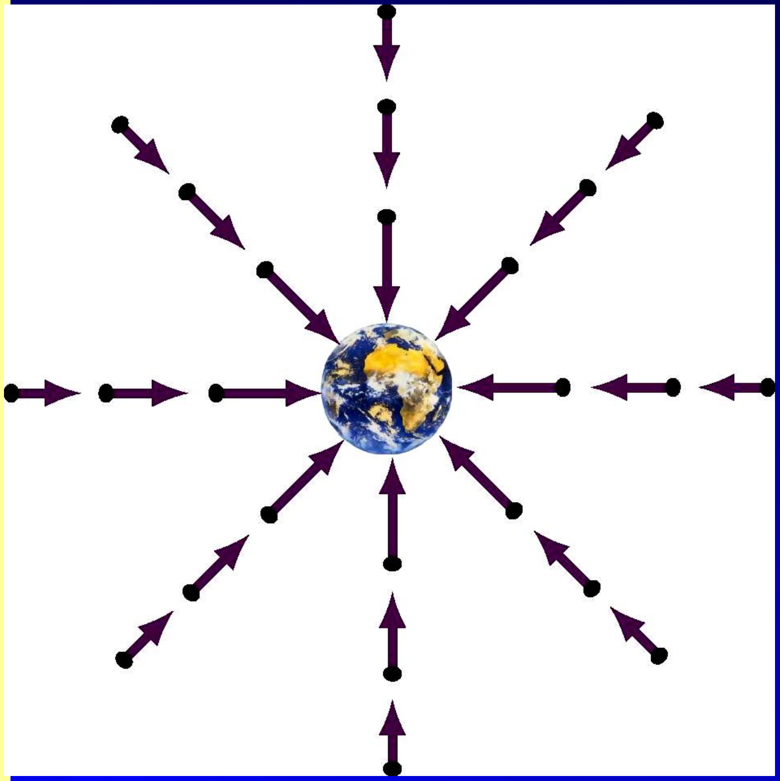
2.1.2 Campos vectoriales: Campo gravitacional

- La fuerza gravitacional está dada por

$$\vec{\mathbf{F}}_g = -G\frac{Mm}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

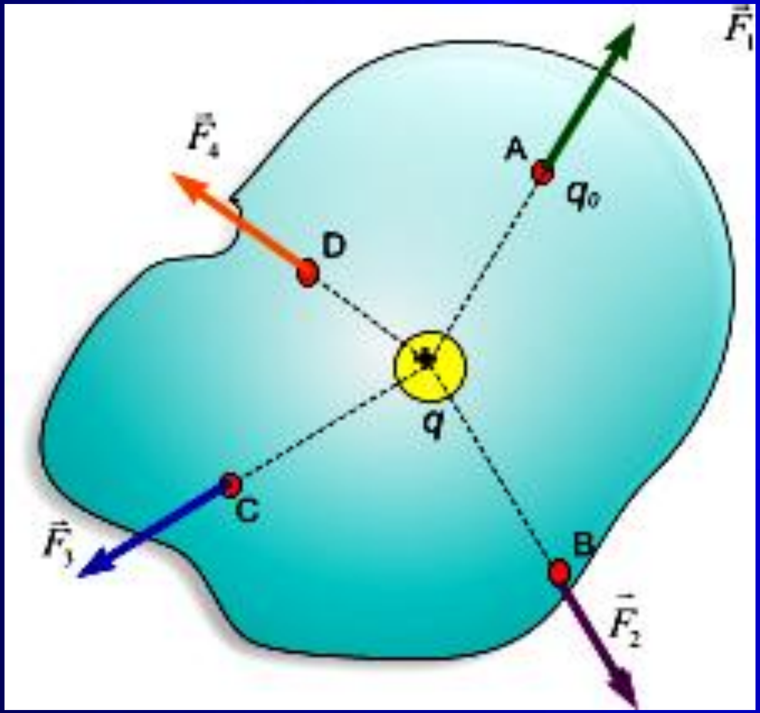
- El campo gravitacional será

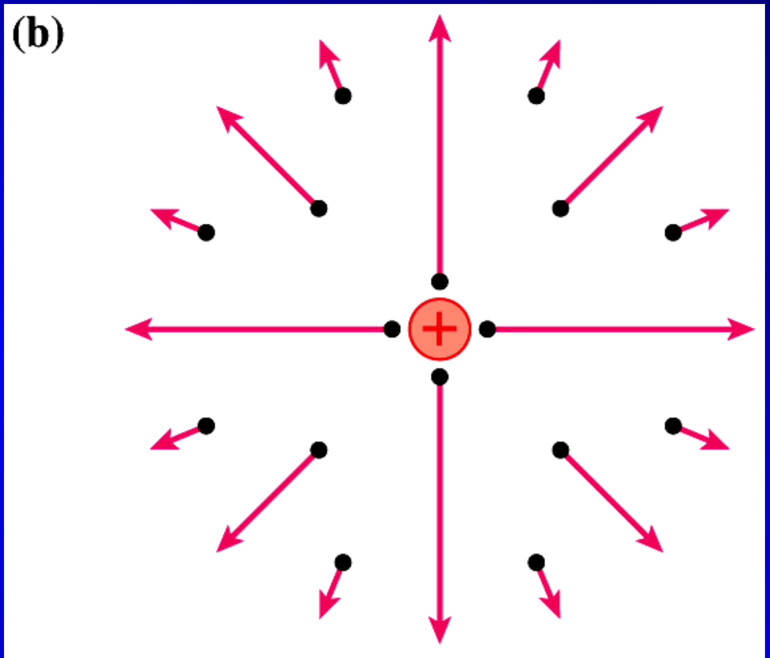
$$\vec{\mathbf{g}} = \frac{\vec{\mathbf{F}}_g}{m} = -\frac{GMm/r^2}{m}\hat{\mathbf{r}} = -G\frac{M}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$



2.2. INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO

- La principal fuente de los campos eléctricos son las cargas eléctricas.
- Para verificar la existencia de campos se colocan cargas de prueba positivas (*qo*) en el espacio circundante y se observa la fuerza que experimenta dicha carga
- La carga de prueba debe ser pequeña de tal manera que su campo propio no perturbe el campo original

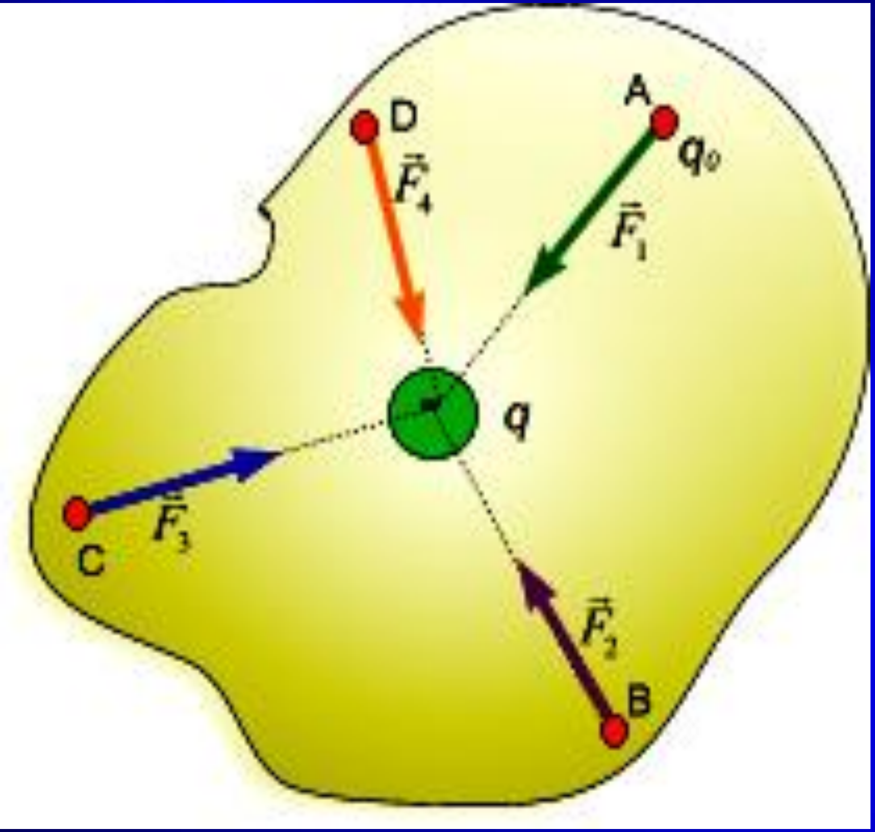


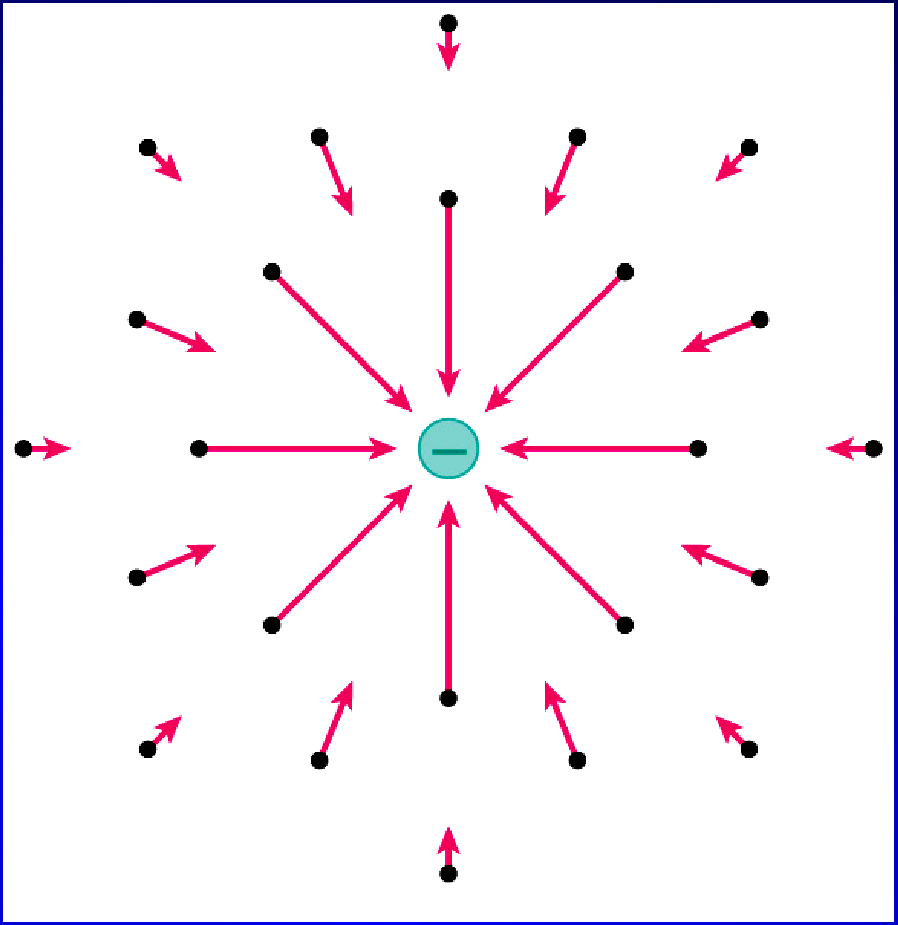


The electric field diagram of a positive point charge

2.2. INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO

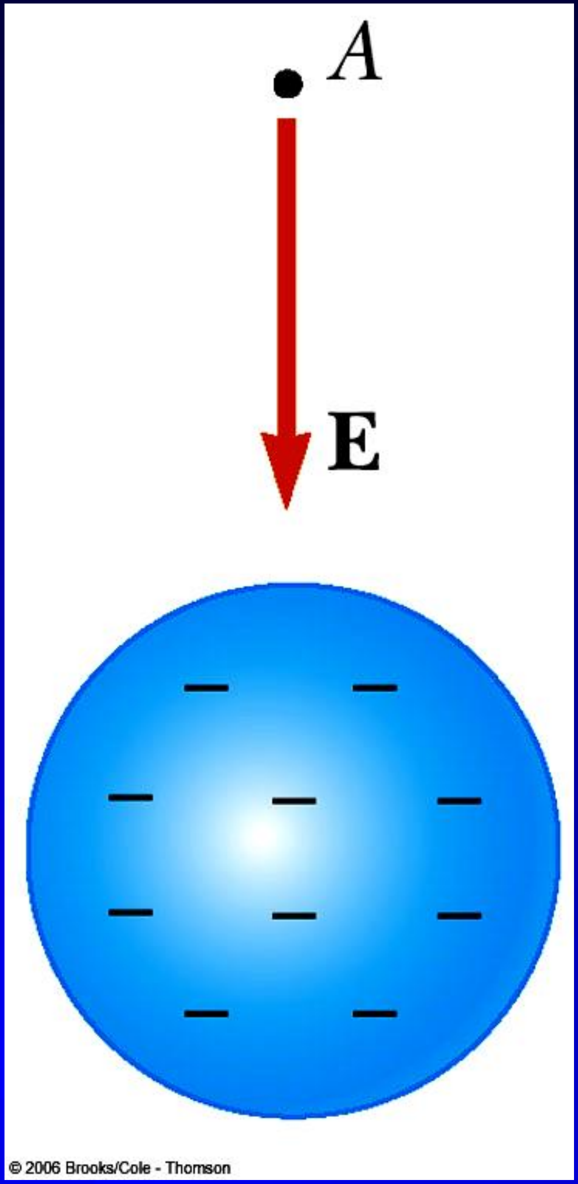
- Si la carga que produce el campo es negativa se tiene





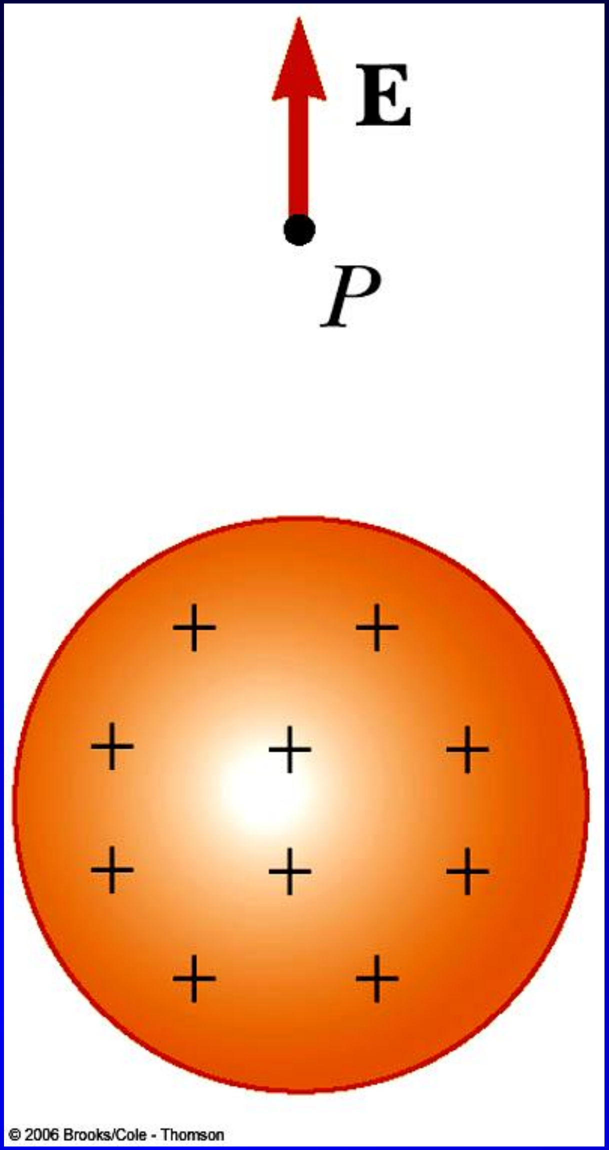
2.2. INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO

- El campo eléctrico producido por una carga negativa se encuentra dirigido hacia el interior de la carga negativa



2.2. INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO

- El campo eléctrico producido por una carga positiva se encuentra dirigido alejándose de la carga positiva



2.2. INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO_2

- El vector intensidad de campo eléctrico E (x,y,z) en un punto del espacio se define como la fuerza eléctrica por unidad de carga de prueba esto es

$$\vec{E}(x,y,z,t) = \frac{\vec{F}(x,y,z,t)}{q_0}, \quad q_0 \to 0$$

- De la ecuación puede obtenerse que la fuerza eléctrica es

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

- Esta ecuación es válida solamente si la carga de prueba es positiva

$$\vec{E} = \lim_{q_0 \to 0} \frac{\vec{F}}{q_0}$$

- Si q_o es positva la fuerza F y el campo E están en la misma dirección

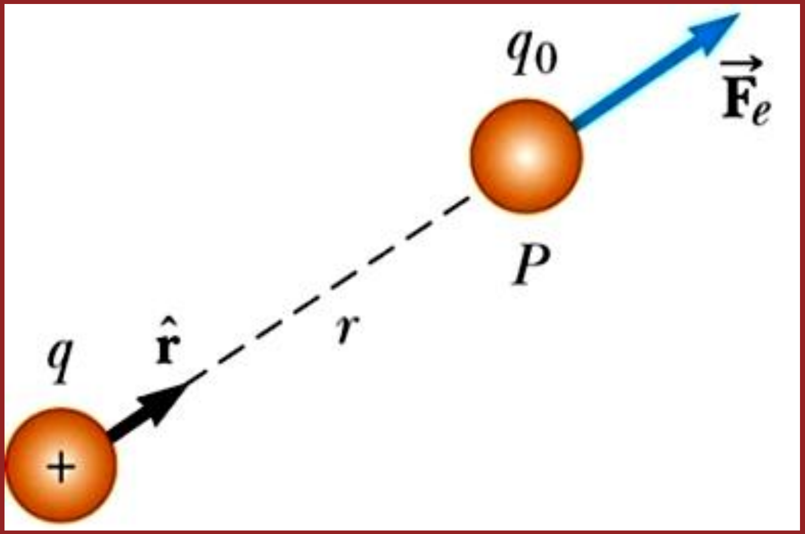
- Si *qo* es negativa está en direcciones opuestas

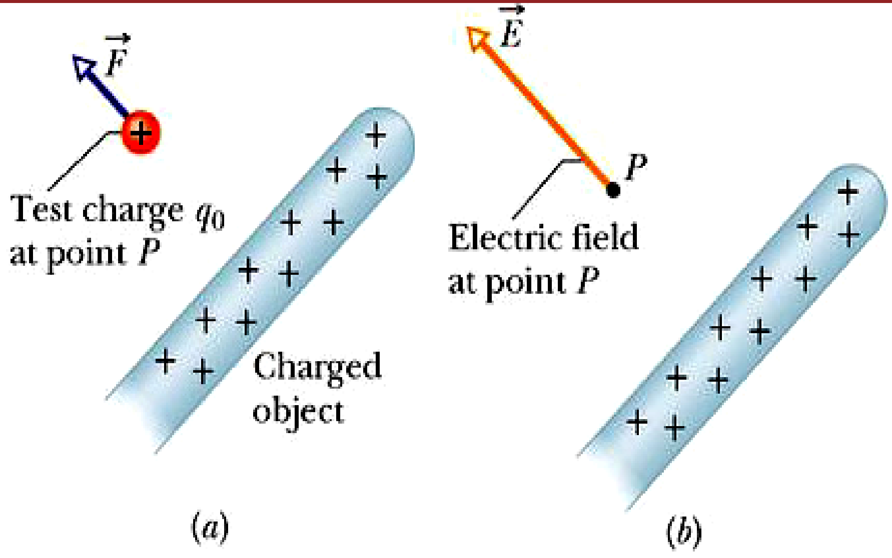
2.2.3 Campos eléctricos de cargas puntuales_1

- Consideremos una carga puntual positiva +q fija y una carga de prueba $+q_0$ en el espacio
- La fuerza que ejerce q sobre q_0 es

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{qq_0}{r^2}\hat{r}$$

- Donde, $\hat{r}$ es un vector unitario dirigido desde *q* hacia q_0





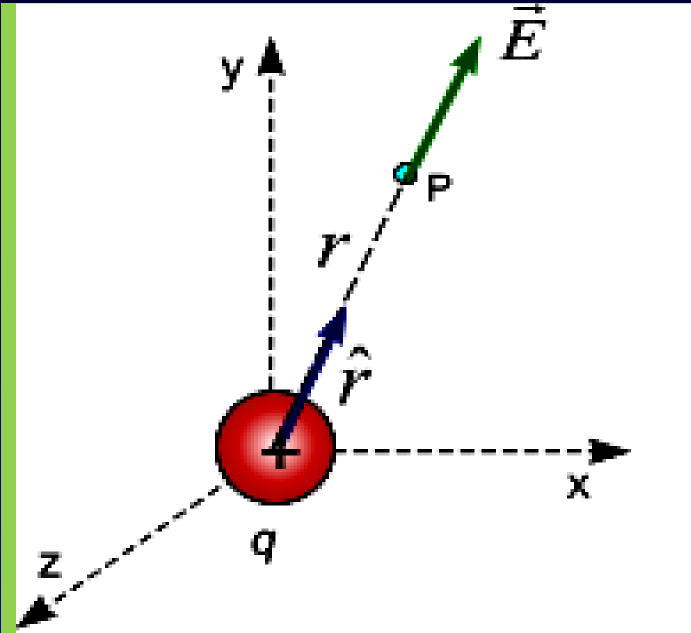
2.2.3 Campos eléctricos de cargas puntuales_2

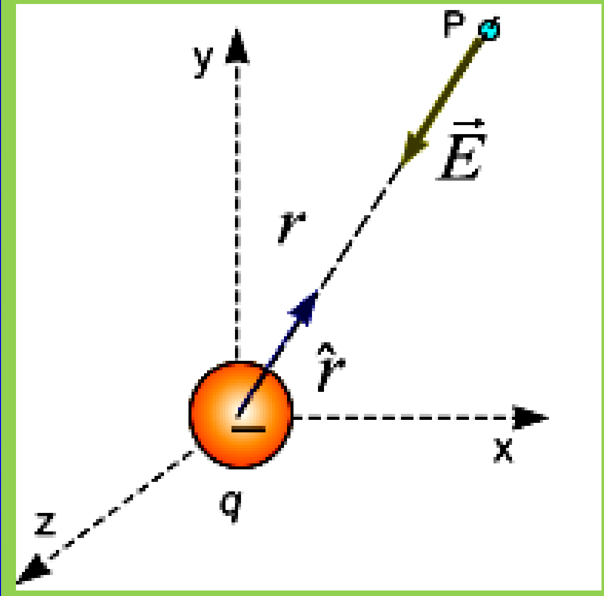
- La intensidad de campo eléctrico en el punto P, debido a la carga *q* ubicada en el origen de coordenadas es

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_o}\dfrac{qq_0}{r^2}\hat{r}}{q_0}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}\hat{e}_r$$

- Si q es positiva el campo está saliendo de la carga positiva y si en negativa el campo es ingresando a la carga





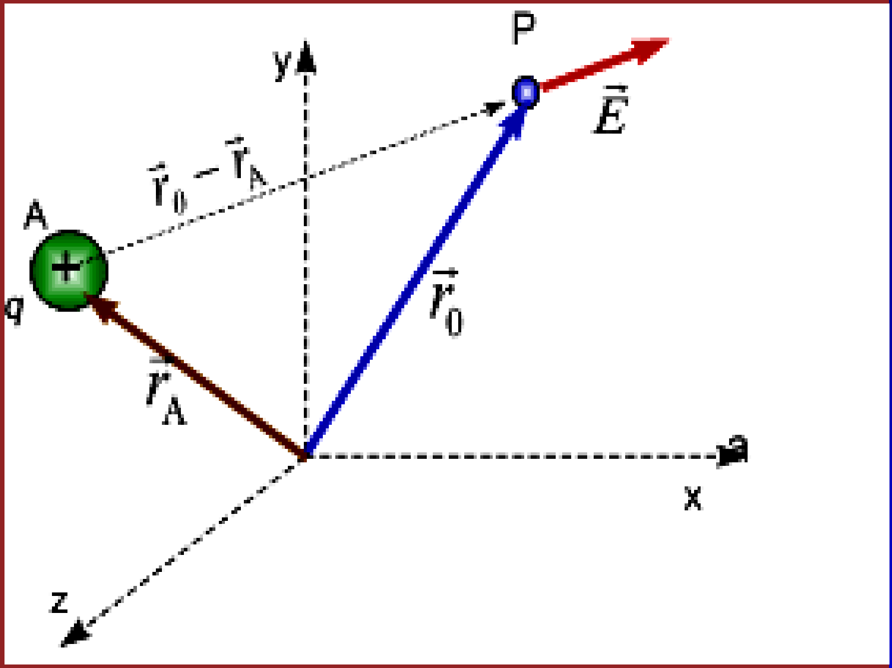
2.2.3 Campos eléctricos de cargas puntuales_3

Si la carga que genera el campo no está en el origen de coordenadas, es decir está ubicada por ejemplo en el punto A(x, y, z), tal como se muestra en la figura la intensidad de campo eléctrico en el punto P(x, y, z), es

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{\left|\vec{r}_0 - \vec{r}_A\right|^3}\left(\vec{r}_0 - \vec{r}_A\right)$$

o

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{\left|\overrightarrow{AP}\right|^3}\left(\overrightarrow{AP}\right)$$

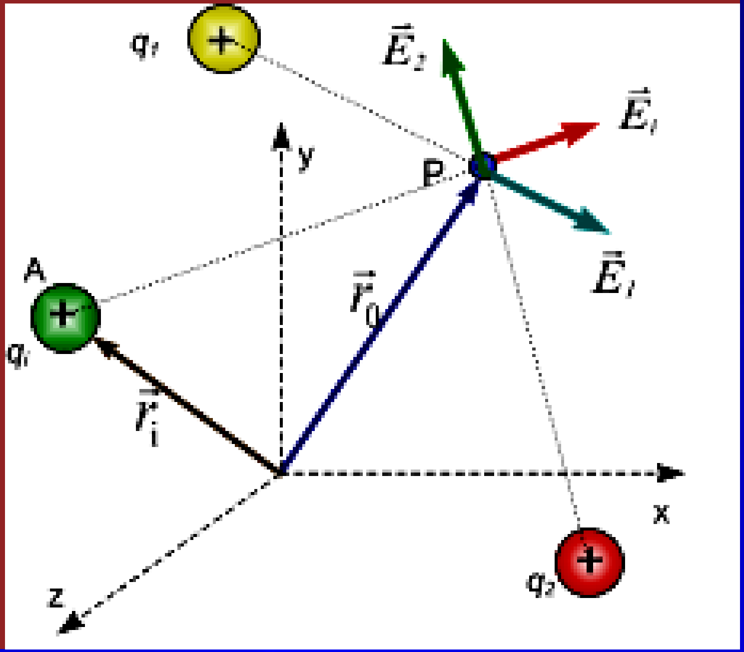


2.4. PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN

- Para halla E de un sistema de cargas primero se determina el campo de cada carga en el punto P(x,y,z).
- Posteriormente se suma vectorialmente todos los campos individuales

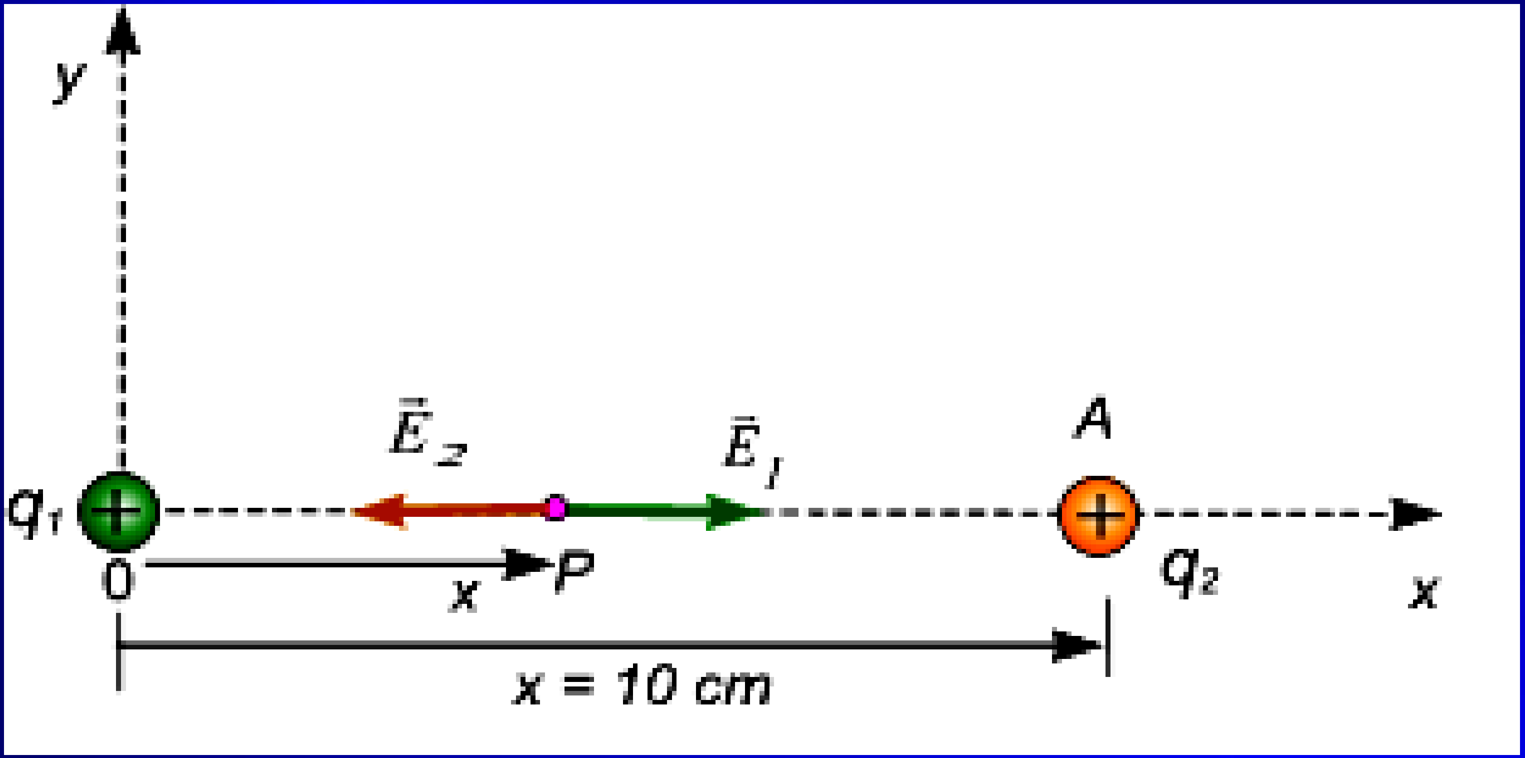
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots\ldots\ldots + \vec{E}_i + \ldots\ldots + \vec{E}_n = \sum \vec{E}_i$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \sum_{i=1}^{n} \frac{q}{\left|\vec{r}_0 - \vec{r}_i\right|^3} \left(\vec{r}_0 - \vec{r}_i\right)$$



Ejemplo 01

Una carga de 5 μC se coloca en $x = 0$ y otra de 10 μC es colocada en $x = 10cm$. Encuentre el punto o puntos sobre el eje x donde el campo eléctrico es nulo. ¿Existen otros puntos $E = 0$?.

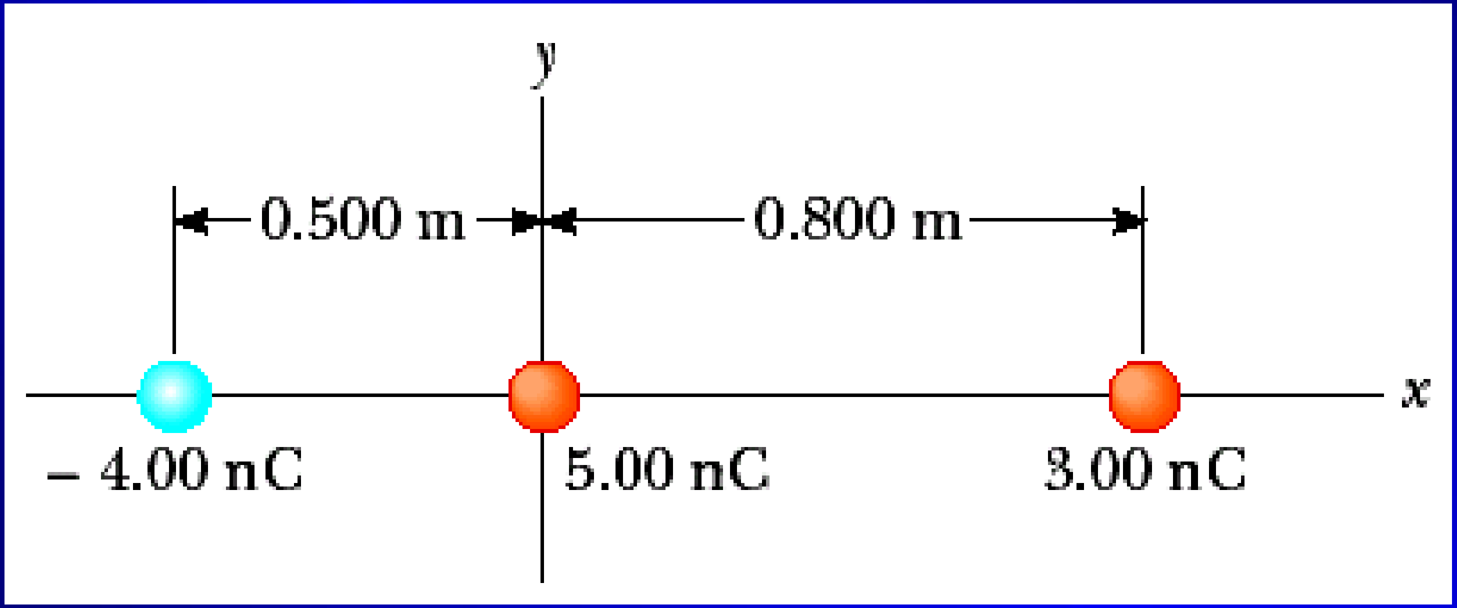


Ejemplo 02

- Tres cargas eléctricas puntuales se encuentra alineadas a lo largo del eje x como se muestra en al figura. Encuentre el campo eléctrico en:

  (a) A(2, 0,0)

  (b) B(0,2,0)

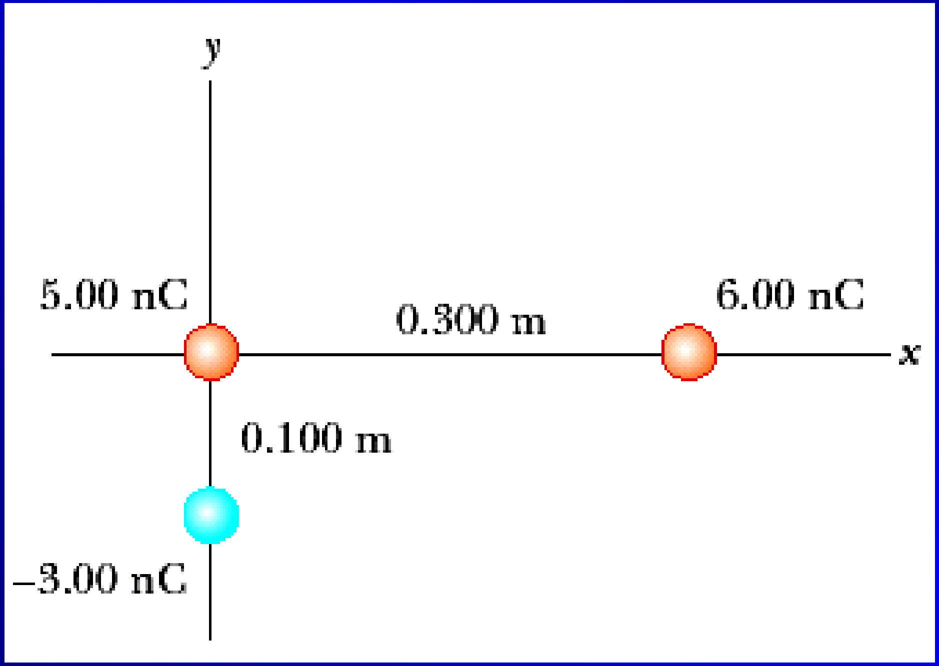


Ejemplo 03

- Tres cargas eléctricas se encuentran ubicadas como se muestra en la figura. Encuentre:

  (a) El campo eléctrico creado en el origen de coordenadas por las carga de 6 nC y -3nC

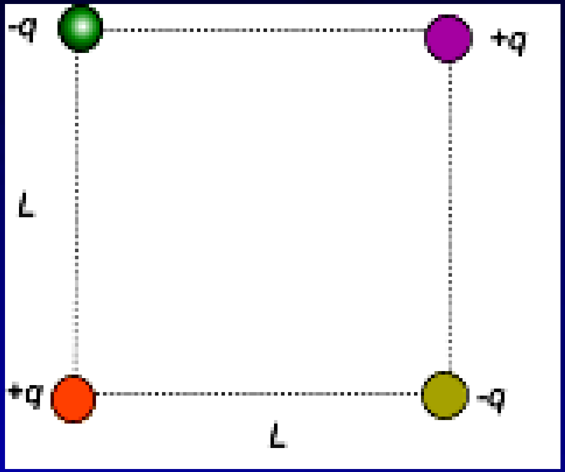
  (b) El vector fuerza sobre la carga de 5 nC

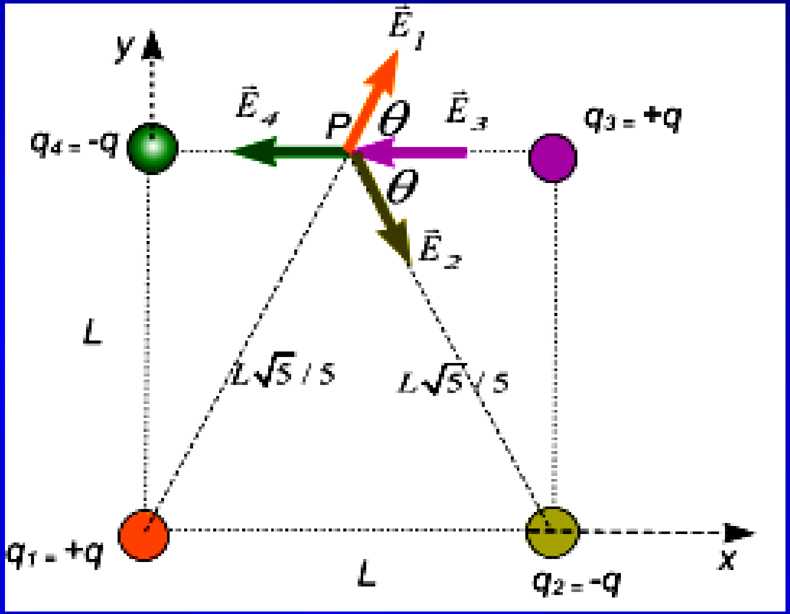


Ejemplo 04

Cuatro cargas del mismo valor están dispuestas en los vértices de un cuadrado de lado L, como se muestra en la figura. Demostrar que el campo eléctrico debido a las cuatro cargas en el punto medio de uno de los lados del cuadrado está dirigido a lo largo de dicho lado hacia la carga negativa y que su valor es.

$$E = \frac{8kq}{L^2}\left(1 - \frac{\sqrt{5}}{25}\right)$$



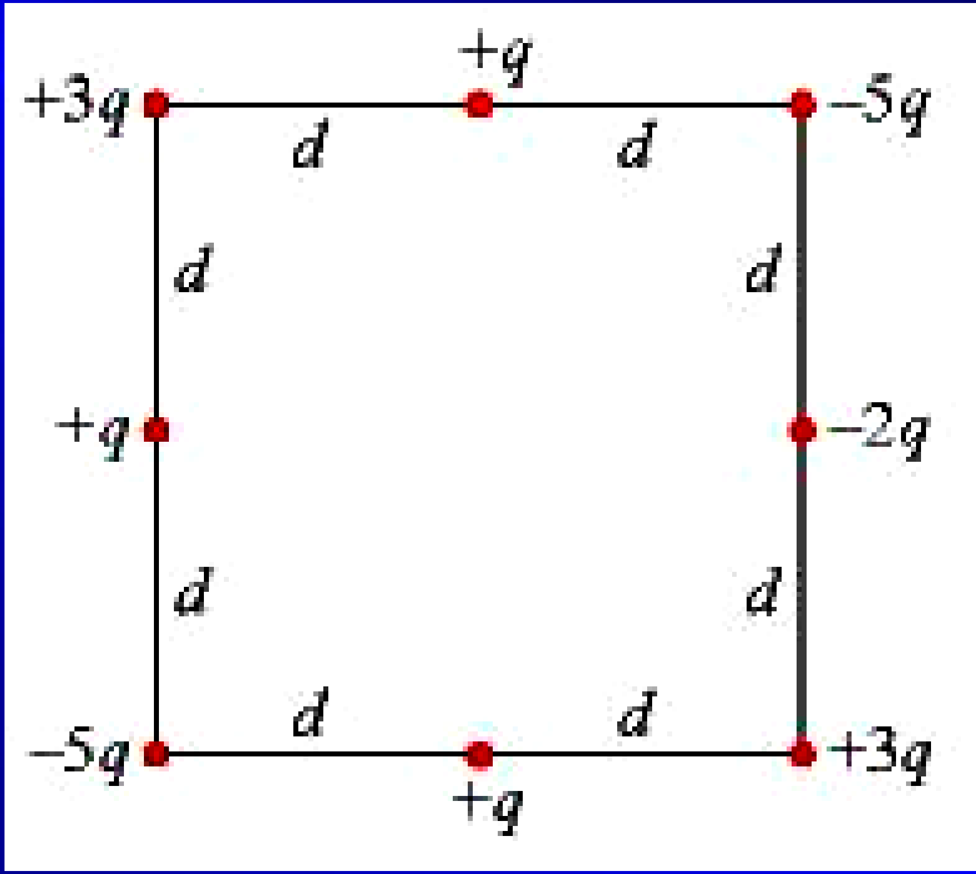


Ejemplo 05

Un objeto que tiene una carga neta de 24 μC es colocado en un campo uniforme de 610 N/C dirigido verticalmente y hacia arriba. ¿Cuál es la masa de este objeto si el flota en el campo eléctrico

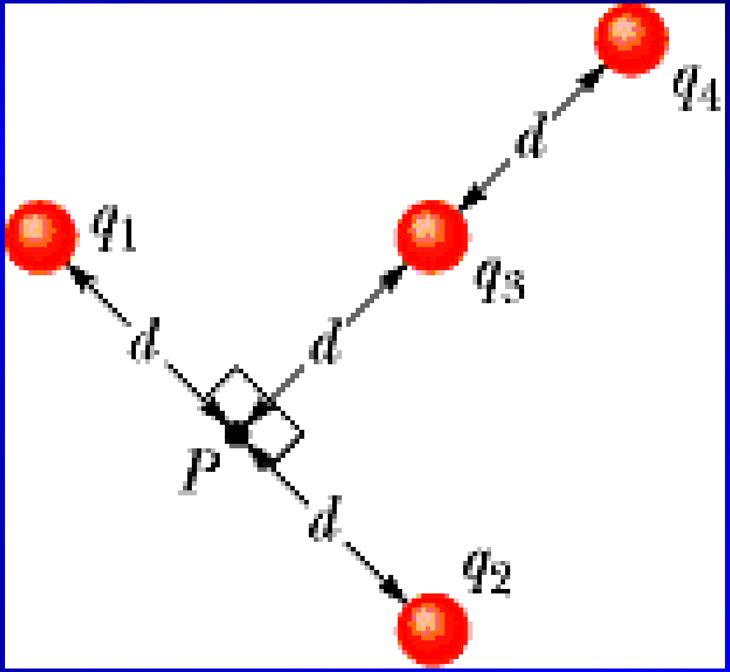
Ejemplo 05

En la figura se muestra ocho cargas ubicadas en un cuadrado de lado 2d. La carga q = e y la distancia d = 1,8 cm. ¿Cuál es la magnitud y dirección del campo ele´ctrico en el centro del cuadrado



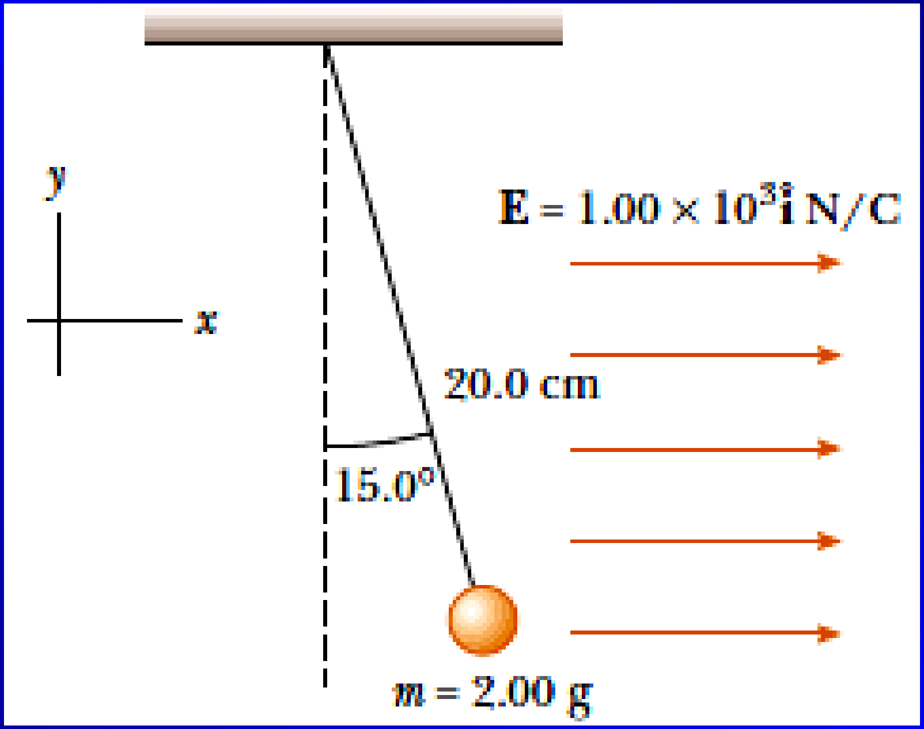
Ejemplo 05

En la figura, las cargas se encuentran fijas en las posiciones indicadas. Si q1 = q2 =+5e; q3 = 3e y q4 = -12e y la distancia d = 9 mm. ¿Cuál será la magnitud y la dirección del campo eléctrico en el punto P



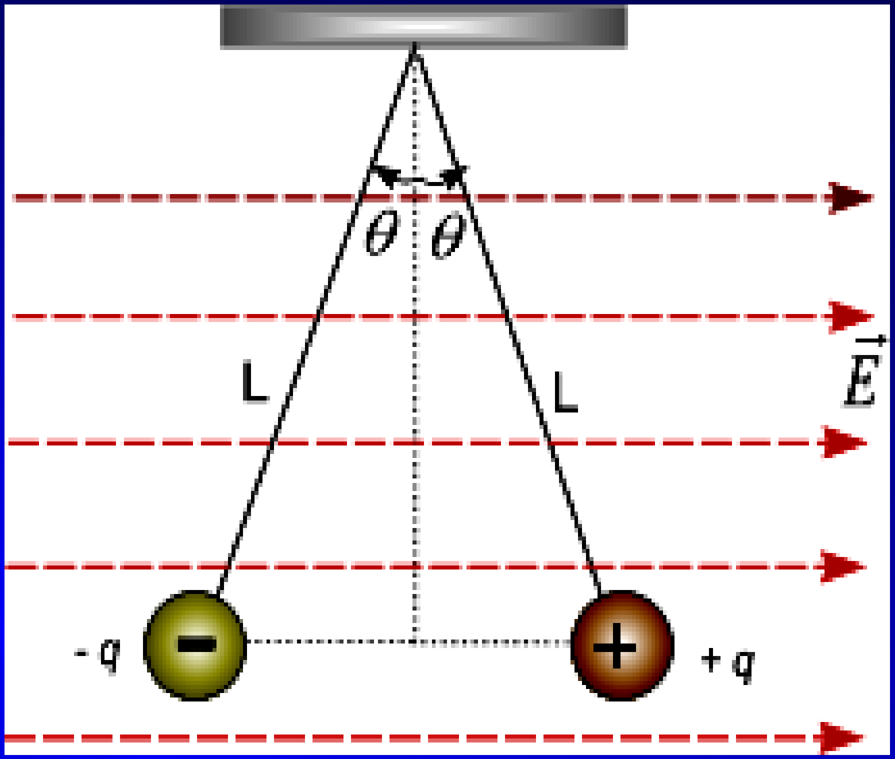
Ejemplo 06

Una pequeña pelota de plástico de 2,00 g está suspendida por un hilo de 20 cm de largo en u campo eléctrico uniforme como se muestra en la figura . Si la pelota se encuentra en equilibrio cuando un hilo forma un ángulo θ = 15° con la vertical. ¿Cuál es la carga neta de la pelota



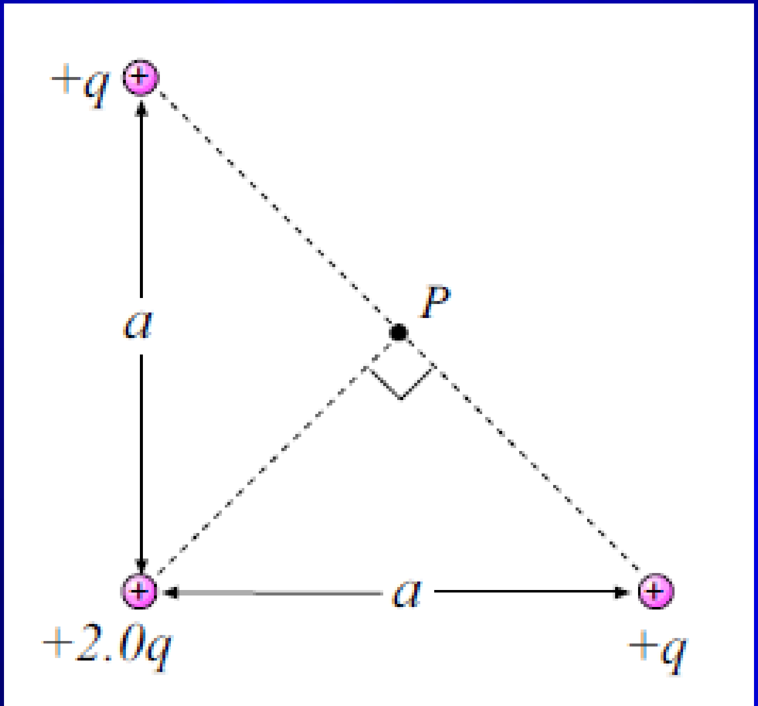
EJEMPLO 07

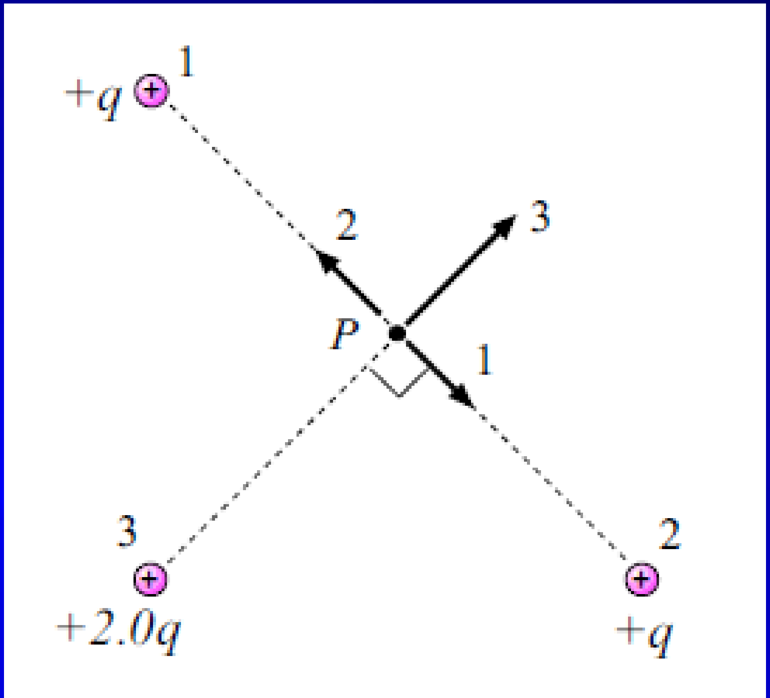
- Dos pequeñas esferas cada una de 2 gramos de masa están suspendidas por cuerdas ligeras de *10 cm* de longitud. Un campo eléctrico uniforme se aplica en la dirección horizontal y hacia la izquierda Si las esferas llevan cargas de *–50 nC* y *+50 nC.* Determine la intensidad de campo eléctrico para que las dos esferas se mantengan en equilibrio cuando



Ejemplo 08

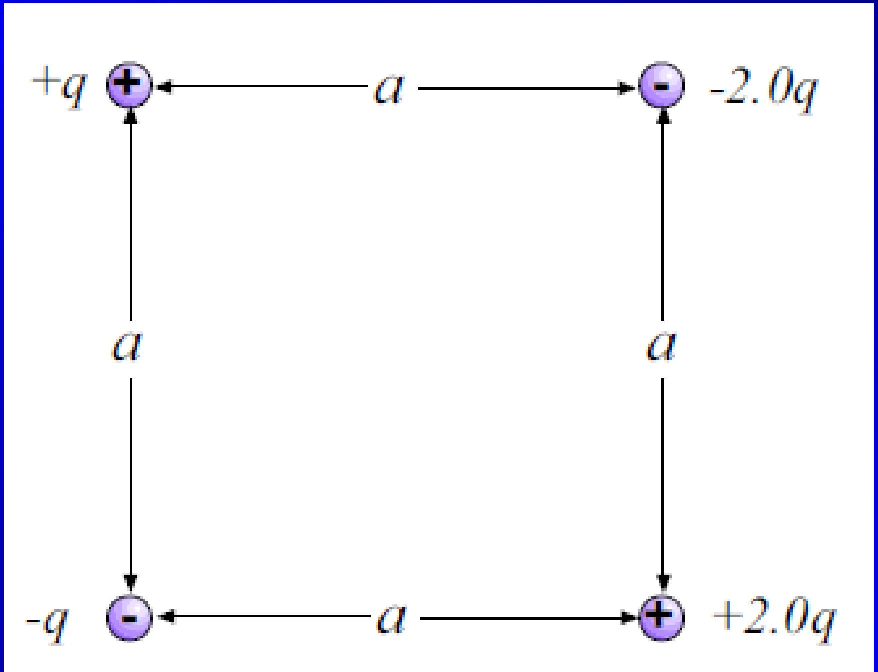
Calcular la magnitud y la dirección del campo eléctrico en el punto P en la figura debido a las tres cargas puntuales.





Ejemplo 09

¿Cuál es la magnitud y la dirección del campo eléctrico en un punto situado a *20 cm* del centro en la perpendicular trazada y que pasa por el centro del cuadrado si q = 10 nC? Considere que *a = 5 cm*



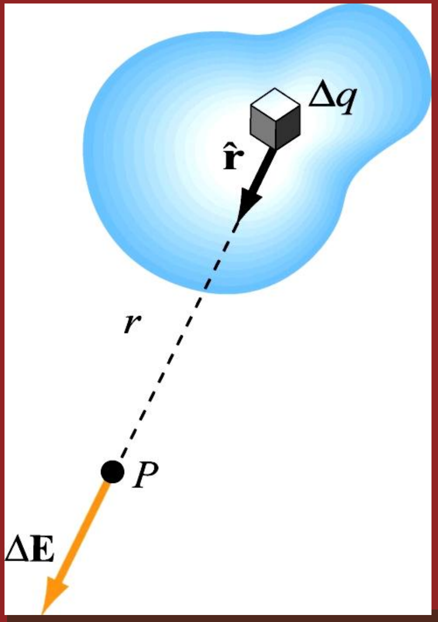
INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO DE UNA DISTRIBUCIÓN CONTINUA DE CARGA.

- Para determinar E de distribuciones de carga se sigue lo siguiente
- Divida a la distribución en elementos de carga pequeños $\Delta q \rightarrow dq$ cuyo comportamiento es idéntico a una carga puntual
- Se determina el campo eléctrico que produce *dq*

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{r^2}\hat{r}$$

- Se procede a sumar (integrar) las contribuciones al campo neto de todos los elementos

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int\frac{dq}{r^2}\hat{r}$$



2.5. Campo de una distribución lineal

- Divida a la distribución en elementos de carga de longitud *dl* y carga *dq* dada por .

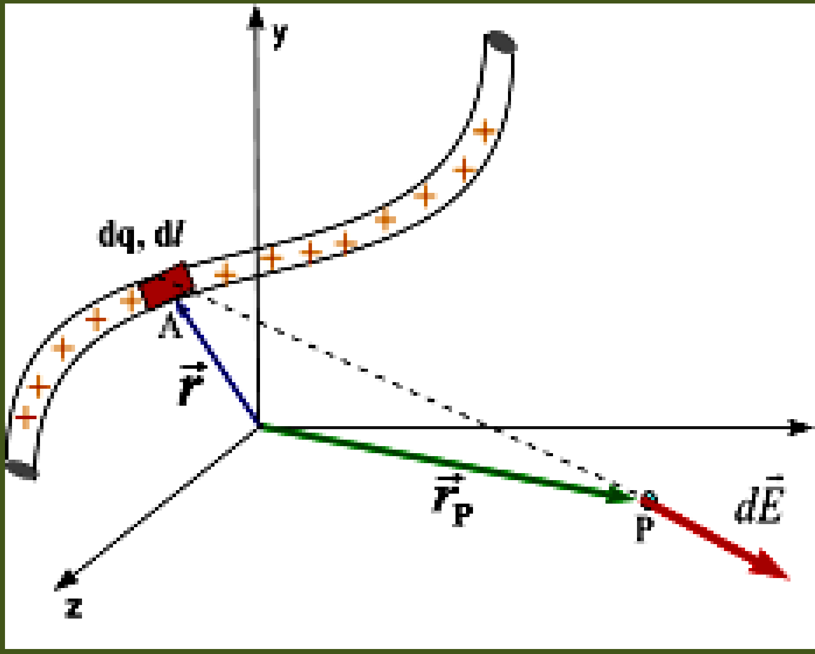
$$\lambda(\vec{r}) = \lim_{\Delta L \to 0}\left(\frac{\Delta q}{\Delta l}\right) = \frac{dq}{dl}$$

- Determine el campo dE producido por el elemento diferencial de carga dq, esto es:

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{\left|\overrightarrow{AP}\right|^3}\left(\overrightarrow{AP}\right) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda(\vec{r})\,dl}{\left|\overrightarrow{AP}\right|^3}\left(\overrightarrow{AP}\right)$$

- Sume (integre) las contribuciones de todos los elementos

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_l \frac{\lambda(\vec{r})\,dl}{\left|\overrightarrow{AP}\right|^3}\left(\overrightarrow{AP}\right)$$



Ejemplo 10

Una barra de longitud *l* tiene carga por unidad de longitud λ y una carga total Q. Determine el campo eléctrico en el punto P que está localizado a lo largo del eje *x* y a una distancia *a* de uno de sus extremos.

Solución

- Se divide a la distribución en elementos de carga dq y se halla el campo, esto es

$$dq = \lambda dx$$

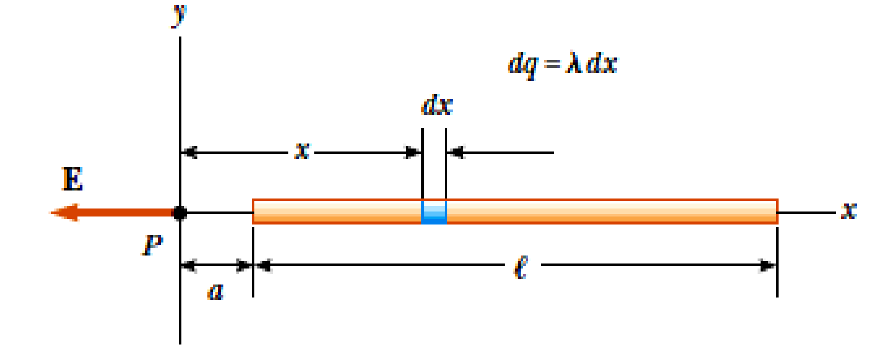
$$dE = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{x^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\lambda dx}{x^2}$$

- El campo total es

$$E = \int_a^{l+a} \frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dx}{x^2} = \frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0}\int_a^{l+a}\frac{dx}{x^2} = \frac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0}\left[-\frac{1}{x}\right]_a^{l+a}$$

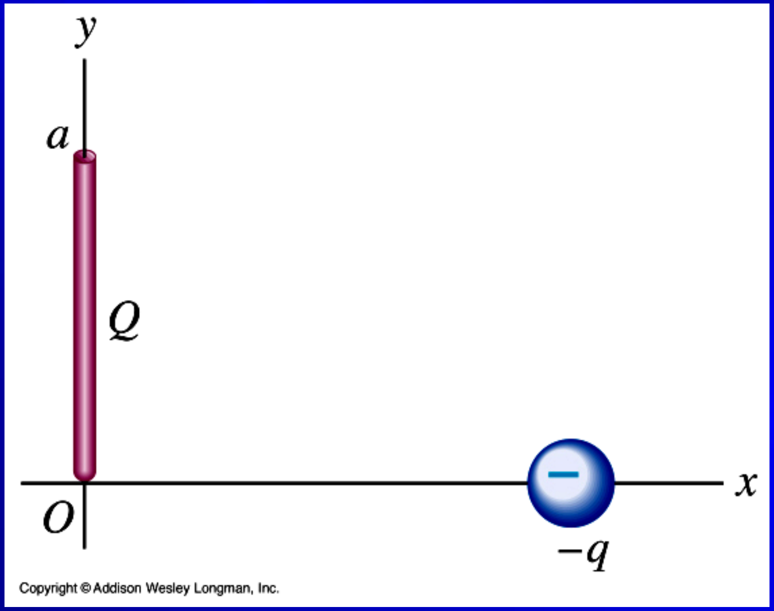
- Por tanto

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{l}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{l+a}\right) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 a(l+a)}$$



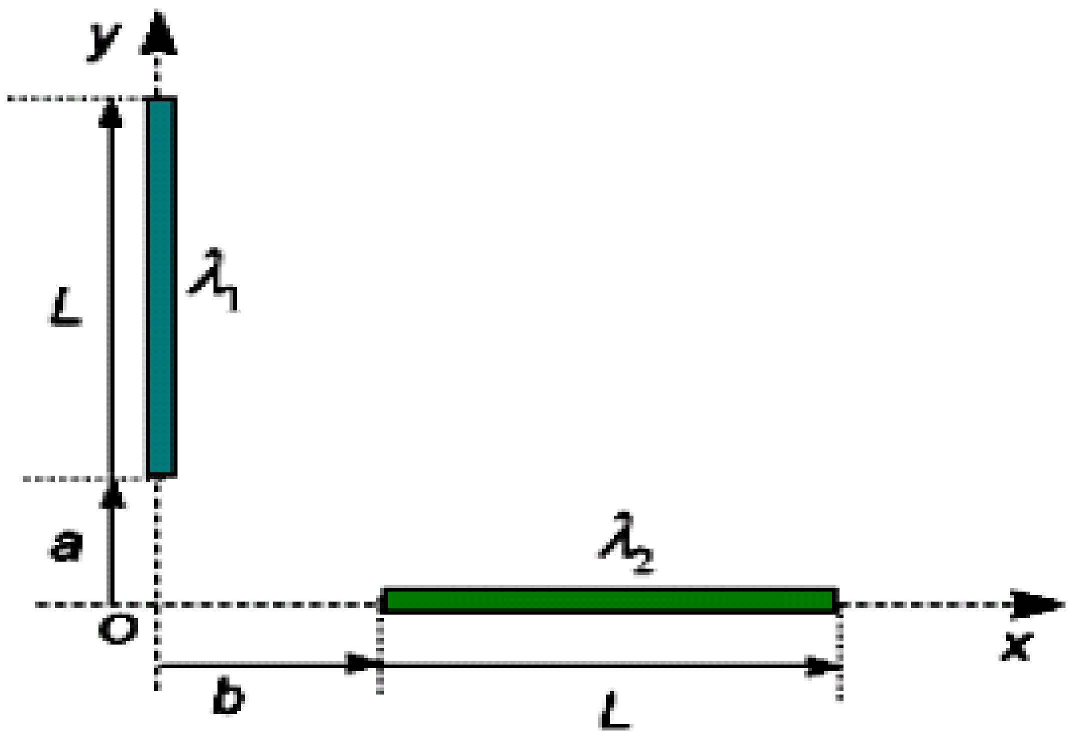
Ejemplo 11

- La carga positiva está distribuida uniformemente a lo largo del eje de las y entre $y = 0$ e $y = a$. Hay una carga $–q$ sobre el eje positivo de las x, a una distancia x del origen como se ve en la figura. (a) Calcule las componentes x e y del campo eléctrico producido por la distribución de carga Q en puntos sobre el eje positivo de las x y (b) las componentes x e y de la fuerza eléctrica que la distribución de carga ejerce sobre $-q$



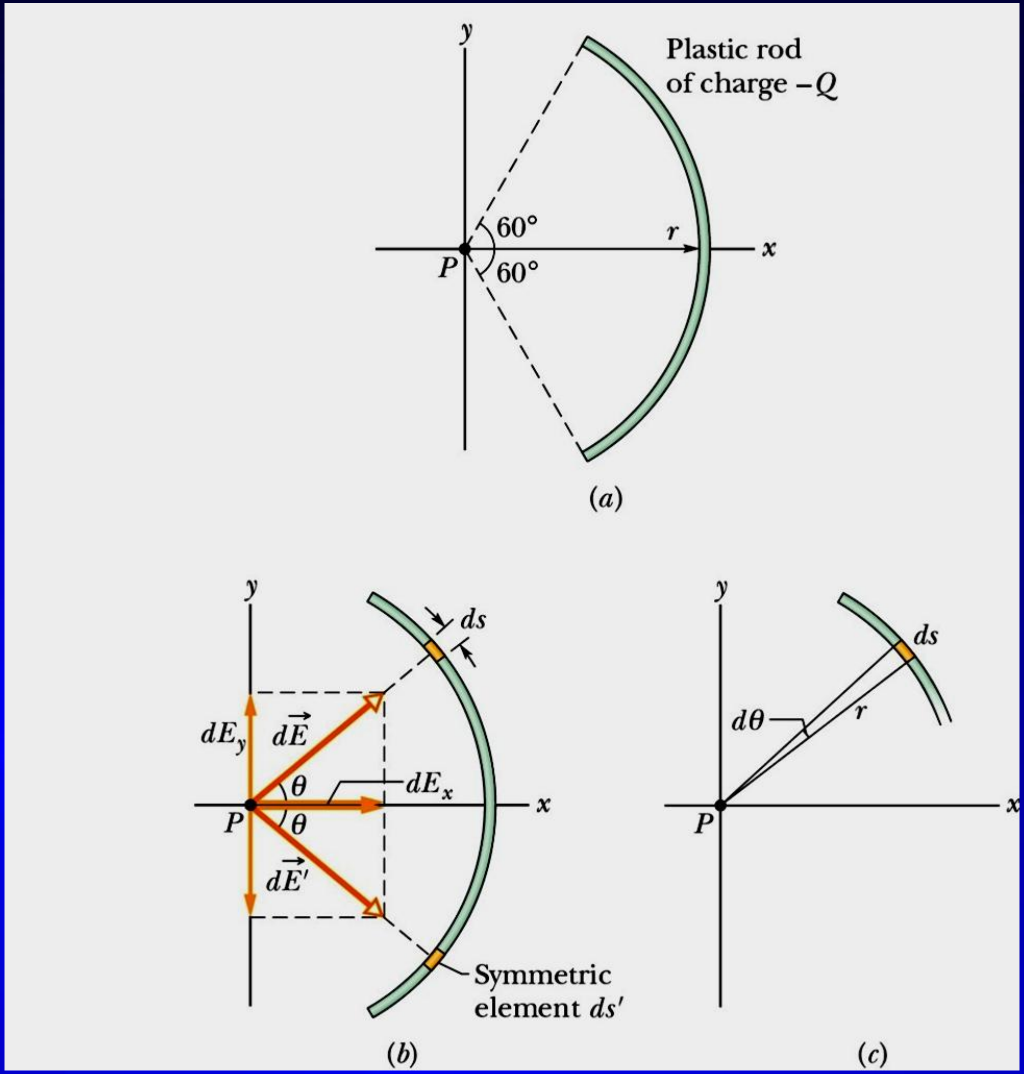
Ejemplo 12

Encuentre el campo eléctrico $\vec{E}$ en el origen del sistema coordenado mostrado debido a dos barras delgadas cargadas de longitud $L = 1,5\ m$. La densidad de carga lineal es $\lambda_1 = -25\ \mu C/m$, mientras que $\lambda_2 = -45\ \mu C/m$. La distancia $a = 0,15\ m$, mientras que la distancia $b = 0,25\ m$

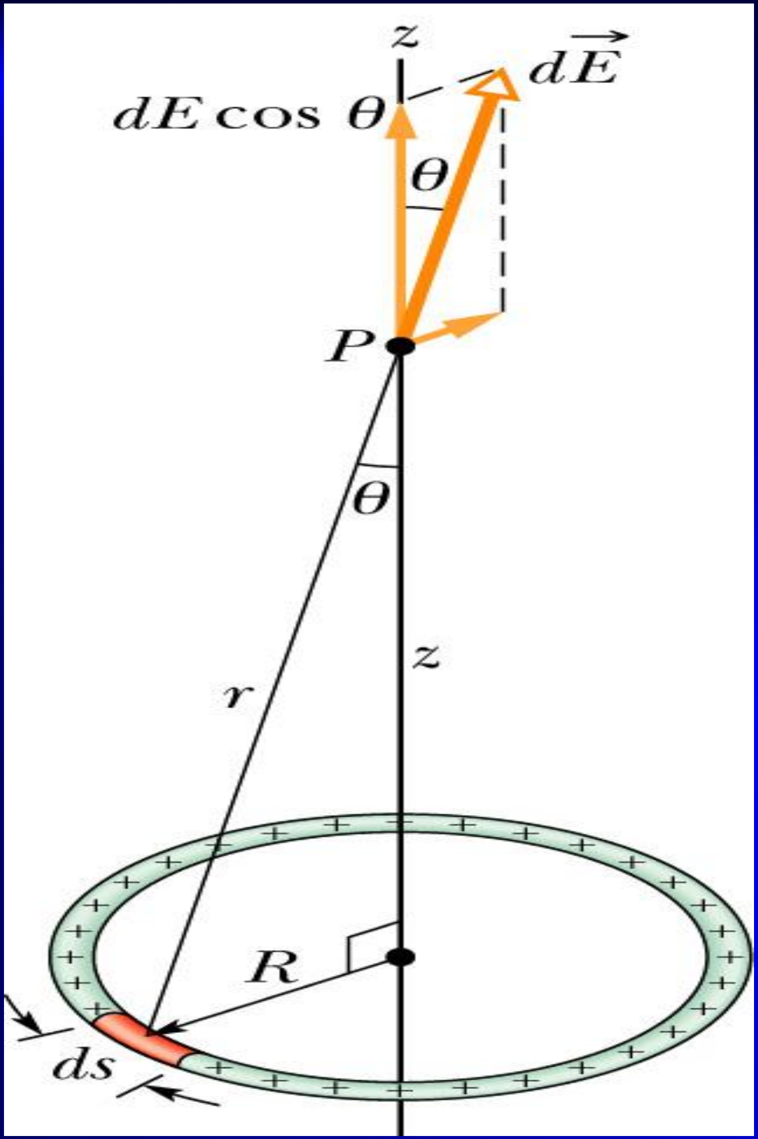


Ejemplo 13

La barra delgada mostrada lleva una carga –Q distribuida uniformemente en su longitud. Halle el campo eléctrico en el punto P



EJEMPLO 14: Halle E para un disco uniformemente cargado con una densidad de carga λ



- Se divide a la distribución en elementos de carga

  dq = λds

- El campo debido a *dq* es

$$dE = k\frac{dq}{r^2} = k\frac{\lambda ds}{r^2}$$

- El campo neto será

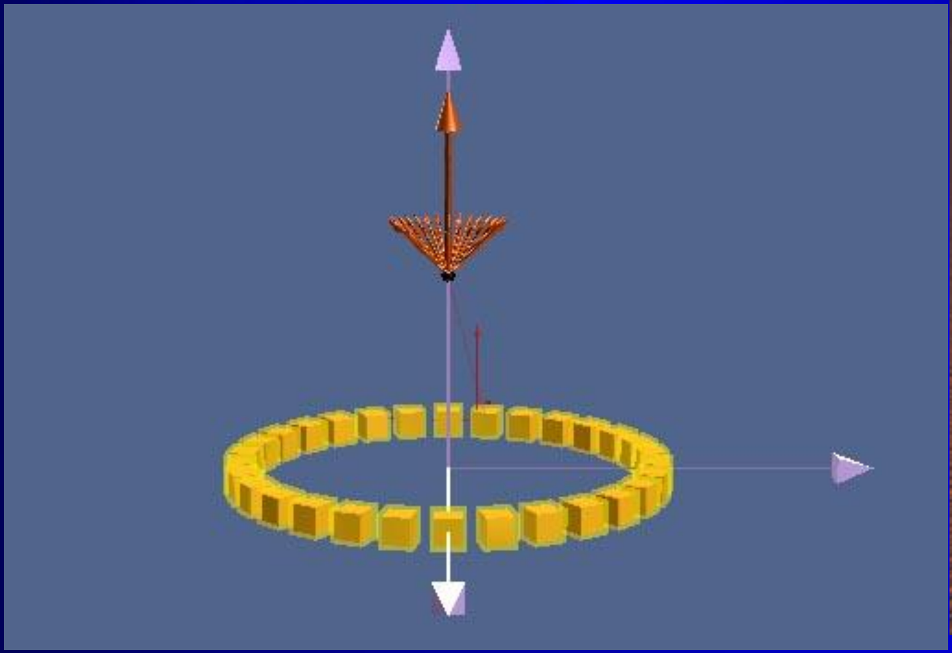
$$E_z = \frac{k\lambda\cos\theta}{r^2}\int ds$$

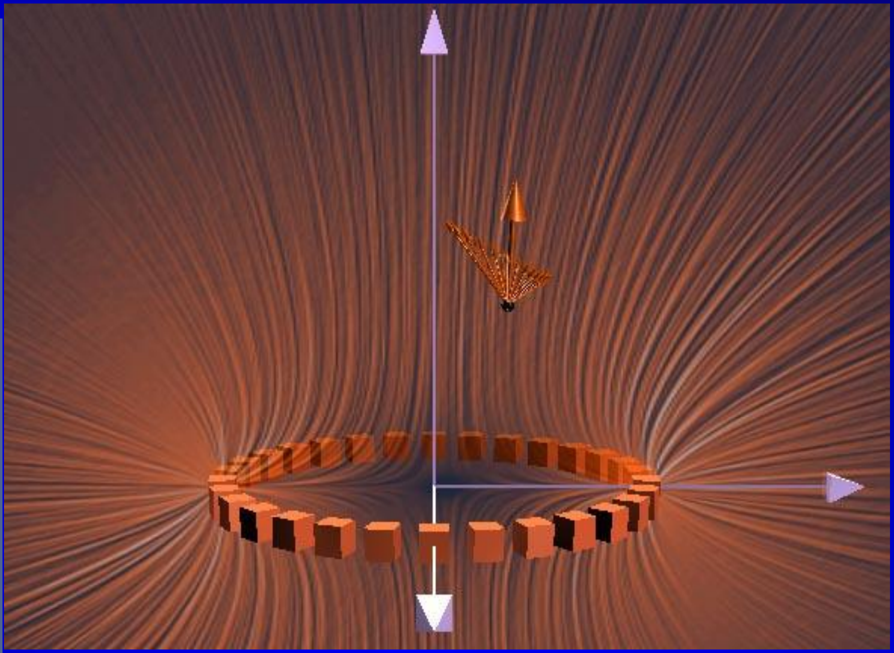
$$E_z = \frac{kQz}{(z^2 + R^2)^{3/2}}$$

CAMPO ELÉCTRICO DE UN ANILLO

$$dQ = \lambda \, dL$$

$$\lambda = \frac{Q}{2\pi R}$$

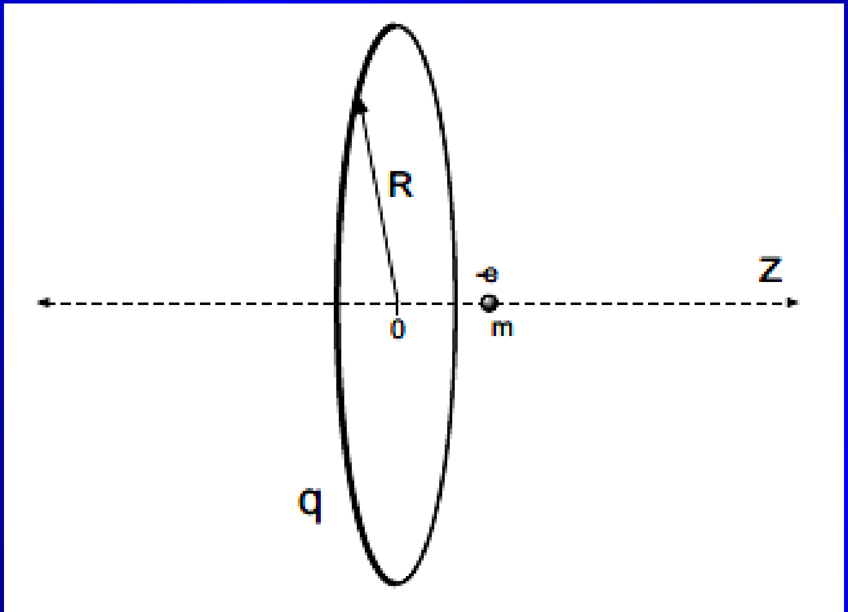




Ejemplo 15

Un electrón es restringido a moverse en el eje central de un anillo de carga con radio R y carga total q. Muestre que la fuerza electrostática ejercida sobre ele electrón puede causar su oscilación a través del centro del anillo con una frecuencia angular de

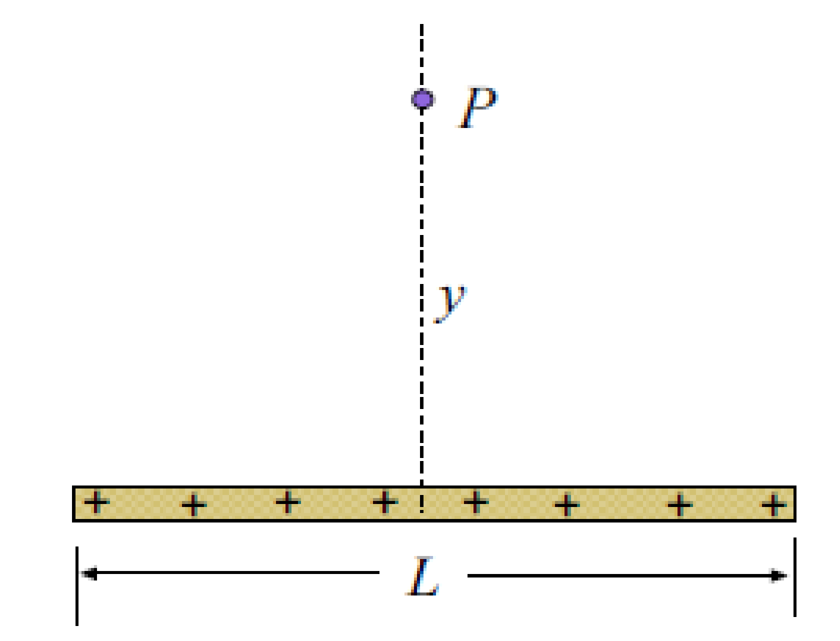
$$\omega = \sqrt{\frac{eq}{4\pi\epsilon_0 m R^3}}$$

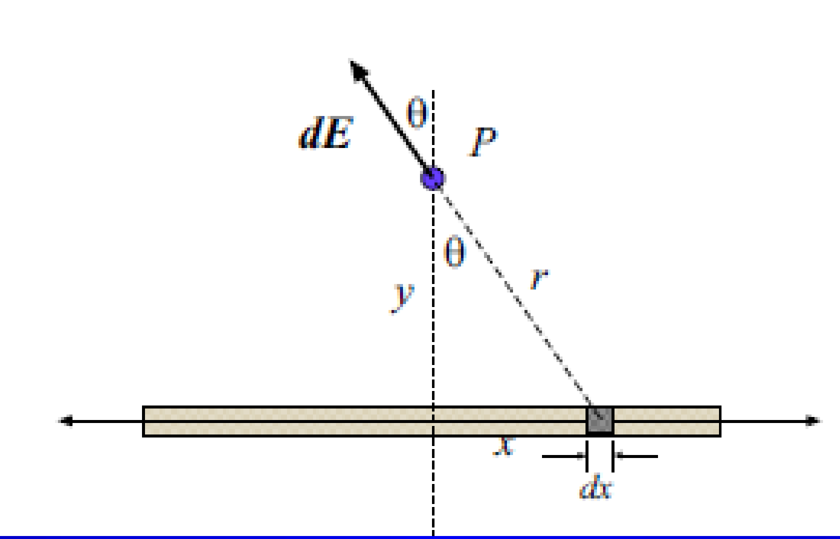


Ejemplo 16

Una barra no conductora delgada de longitud finita L tiene una carga *q* distribuida uniformemente a lo largo de ella. Muestre que la magnitud E del campo eléctrico en el punto P sobre la bisectriz perpendicular a la varilla está dado por

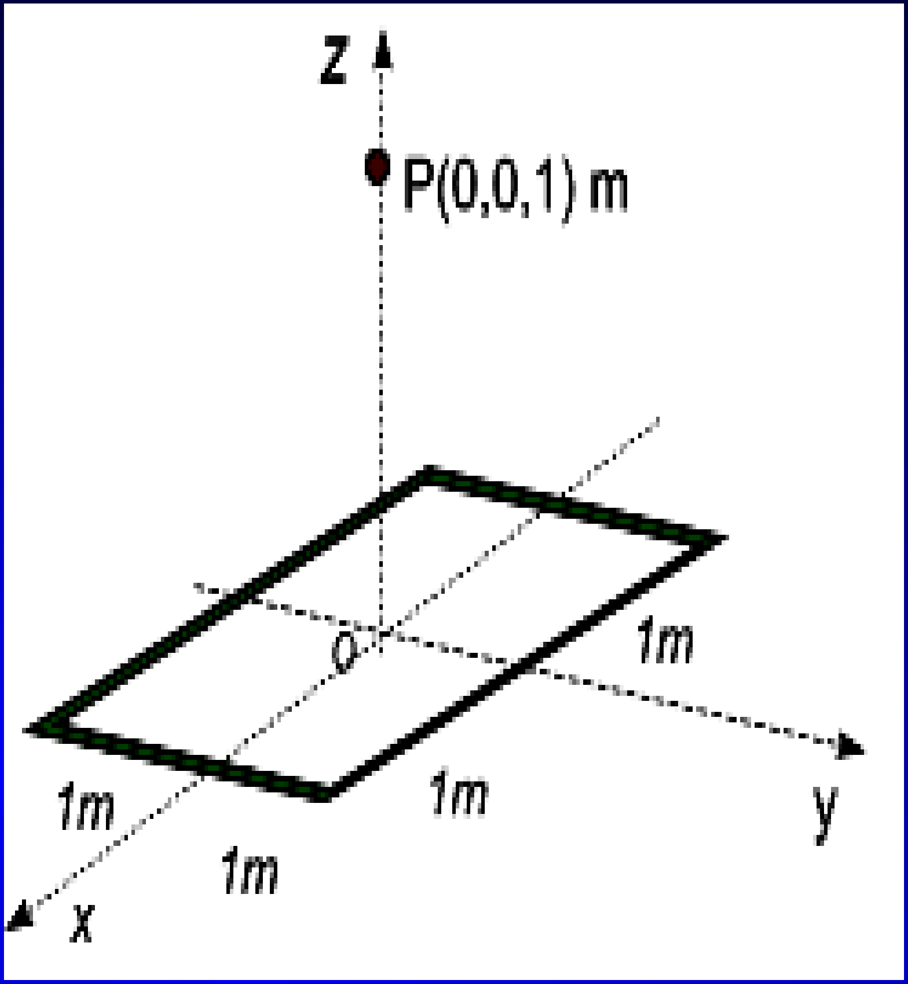
$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 y}\frac{1}{(L^2+4y^2)^{1/2}}.$$





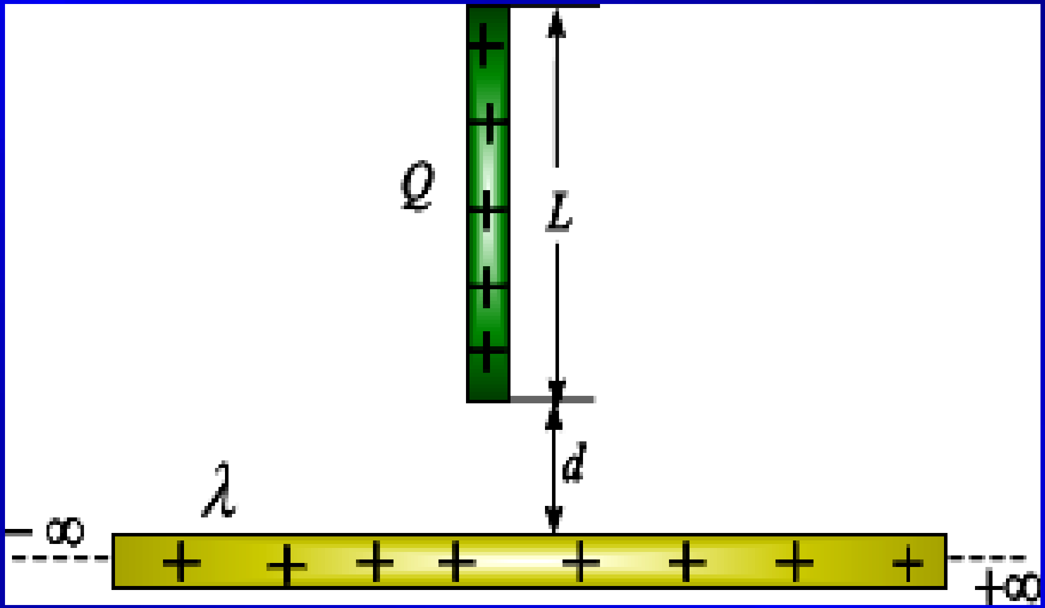
Ejemplo 17

Una carga lineal uniforme de densidad *λ = 1 nC/m* está arreglada en la forma de un cuadrado de 2 m de lado, como se muestra en la figura. Encuentre la magnitud de la intensidad de campo eléctrico en el punto *P(0, 0, 1)m.*



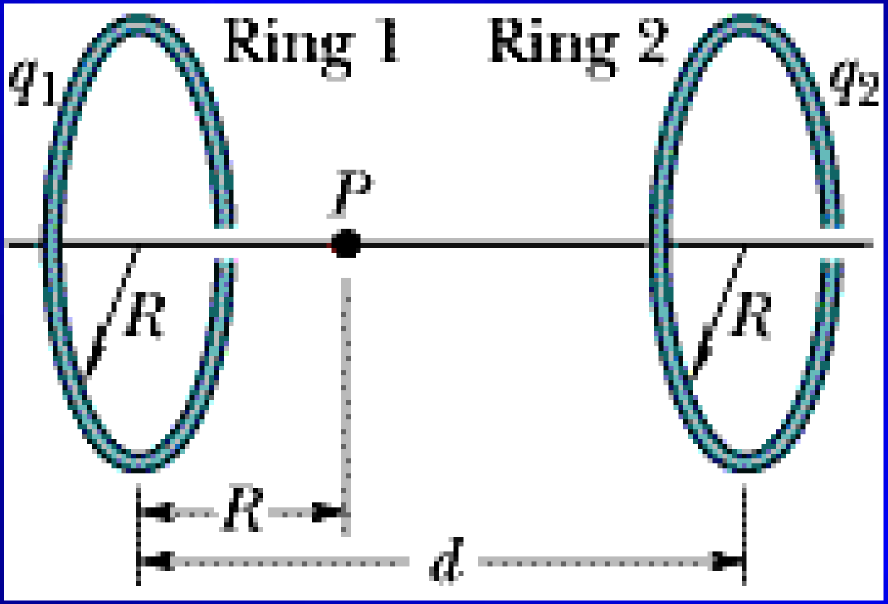
Ejemplo 18

Una barra de longitud L tiene una carga total +Q distribuida uniformemente en su longitud y se encuentra en dirección perpendicular a una carga lineal uniforme e infinitamente larga de densidad λ C/m, como se muestra en la figura. El extremo más próximo de la barra a la carga lineal dista de esta la longitud d. Determine la fuerza que la carga lineal infinita ejerce sobre la barra de longitud L.



Ejemplo

- La figura muestra dos anillos no conductores y paralelos, dispuestos de tal manera que sus ejes son colineales. El anillo 1 tiene una carga q1 distribuida uniformemente en su longitud y un radio R y el anillo de radio R tiene una carga q2 distribuida uniformemente en su longitud Los anillos se encuentran separados por una distancia d = 3.00R. Si el campo ele´ctrico neto en el punto P a una distancia R del anillo es cero. ¿Cuál es la razón q1/q2?



Ejemplo

- La figura muestra dos anillos concéntricos de radios R y R' = 3,00R, que se encuentran fijos en el mismo plano. El punto P se fija sobre el eje Z, a una distancia D = 2,00R desde el centro de los anillos. El anillo más pequeño tiene una carga +Q uniformemente distribuida. En términos de Q ¿Cuál es la carga distribuida sobre el anillo mas grande si el campo eléctrico neto en P es cero?

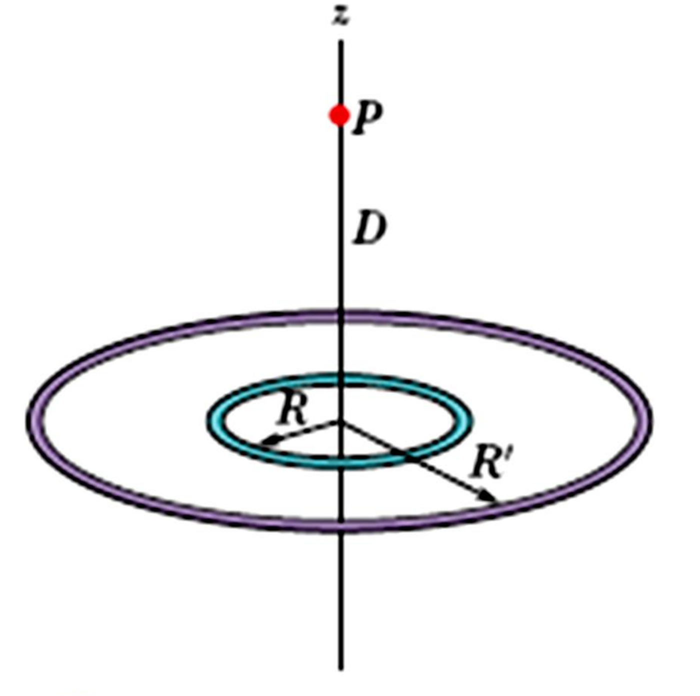


Fig. 22-57 Problem 62.

Ejemplo 19

64 Figure 22-58 shows three circular arcs centered on the origin of a coordinate system. On each arc, the uniformly distributed charge is given in terms of $Q = 2.00\ \mu C$. The radii are given in terms of $R = 10.0$ cm. What are the (a) magnitude and (b) direction (relative to the positive x direction) of the net electric field at the origin due to the arcs?

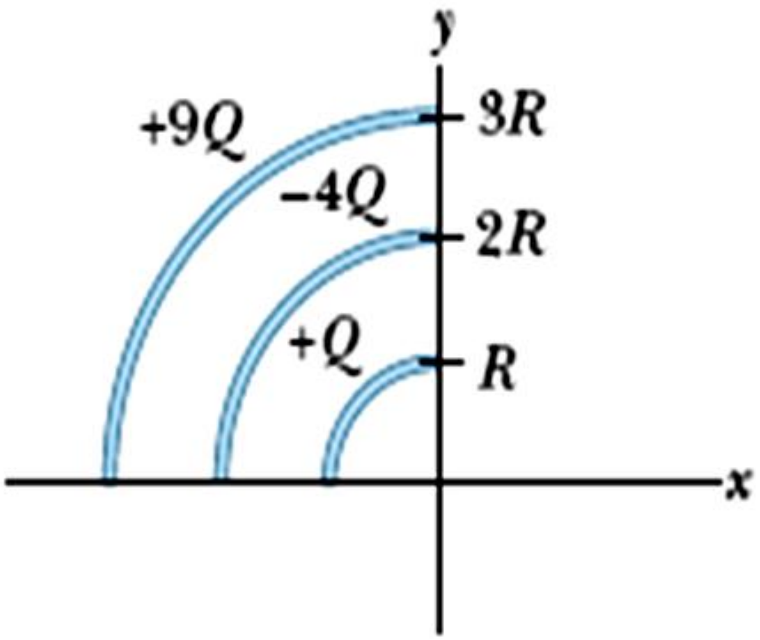


Fig. 22-58 Problem 64.

2.6. Campo de una distribución superficial

- Divida a la distribución en elementos de carga de longitud *dA* y carga *dq* dada por .

$$\sigma(\vec{r}) = \lim_{\Delta L \to 0}\left(\frac{\Delta q}{\Delta A}\right) = \frac{dq}{dA}$$

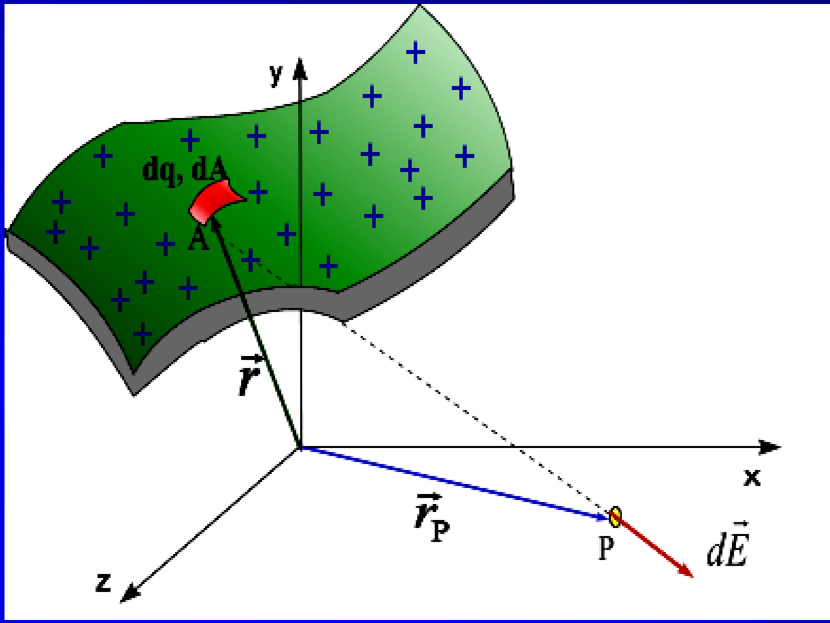
- Determine el campo dE producido por el elemento diferencial de carga dq, esto es:

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{\left|\overrightarrow{AP}\right|^3}\left(\overrightarrow{AP}\right)$$

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\sigma(\vec{r})\,dA}{\left|\overrightarrow{AP}\right|^3}\left(\overrightarrow{AP}\right)$$

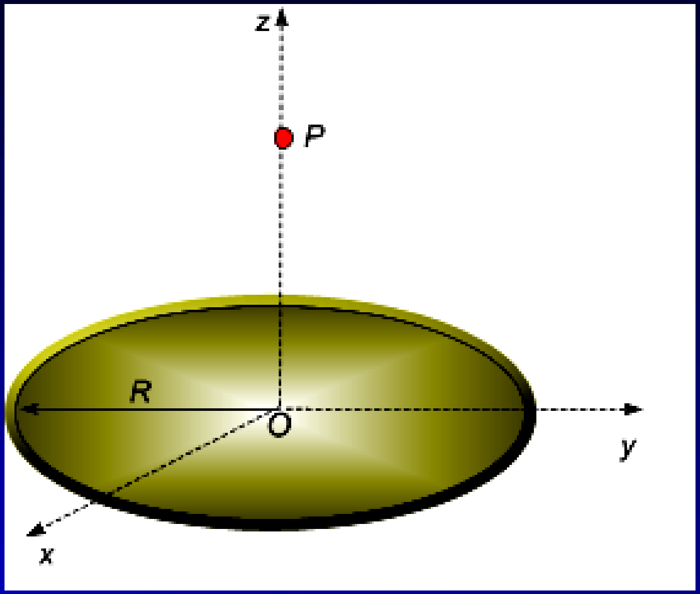
- Sume (integre) las contribuciones de todos los elementos

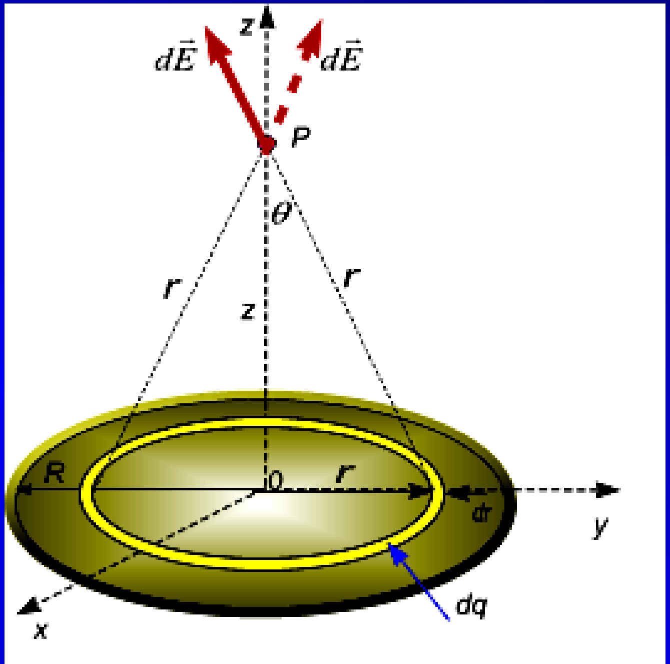
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\iint_A \frac{\sigma(\vec{r})\,dA}{\left|\overrightarrow{AP}\right|^3}\left(\overrightarrow{AP}\right)$$



Ejemplo 20

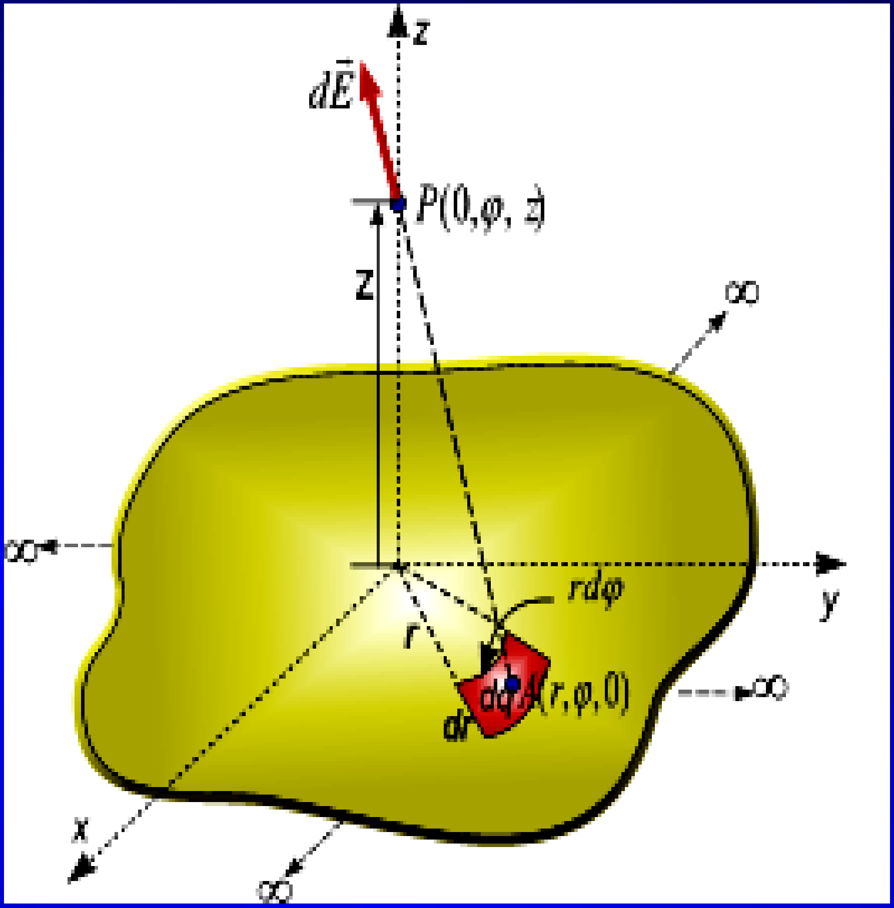
Un disco de radio R uniformemente cargado con una carga total Q se encuentra en el plano *xy*, centrado en el origen de coordenada como se ve en la figura (a). Determine el campo eléctrico en el punto P, a lo largo del eje *z* y que pasa a través del centro del disco perpendicular al plano. Discutir el caso límite cuando $R >> z$.





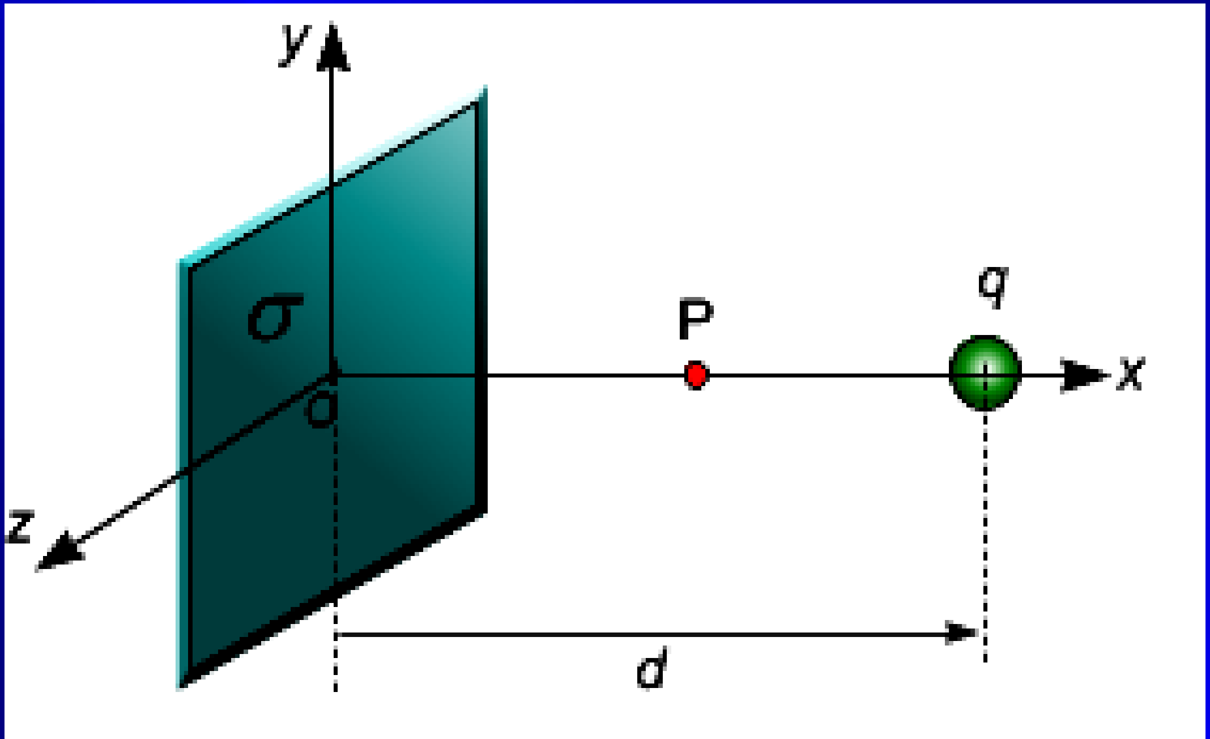
Ejemplo 21

Una lámina plana infinita lleva una carga uniformemente distribuida sobre su superficie con una densidad σ. Si la lámina se encuentra en el plano xy. Determine la intensidad de campo eléctrico en puntos perpendiculares a la lámina.



EJEMPLO 22

- Encuentre el campo eléctrico en un punto medio P entre una lámina infinita que lleva una densidad de carga superficial *σ = 84,5 μC/m2* y una carga puntual *q = 5,25 μC* como se muestra en el diagrama. La distancia *d* entre la lámina de carga y la carga puntual es *7,55 cm*

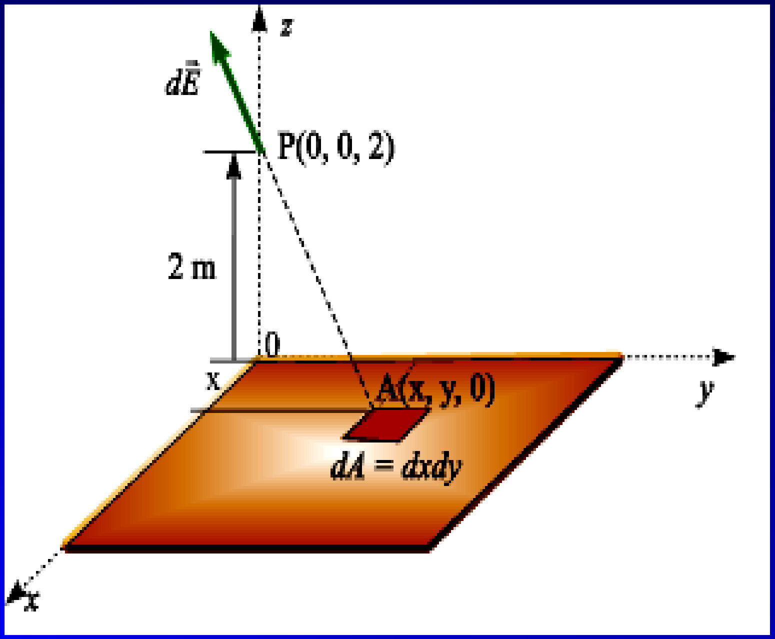


EJEMPLO 23

Una distribución de carga laminar finita en forma de cuadrado de 2 m de lado y de densidad

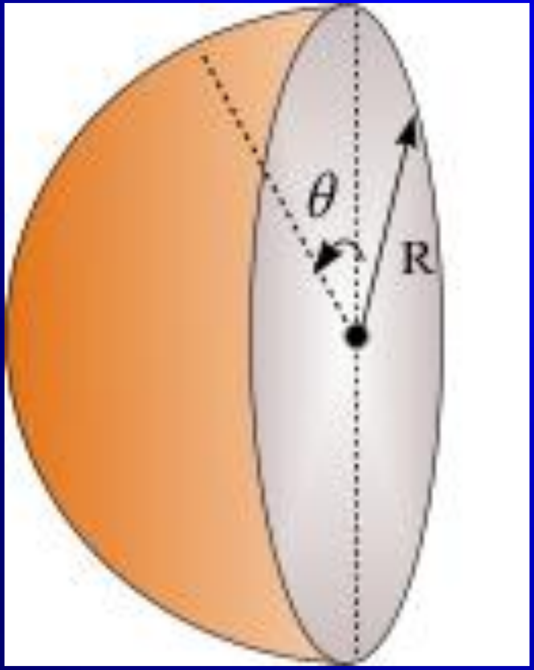
$$\sigma = 2x\left(x^2 + y^2 + 4\right)^{3/2} C/m^2$$

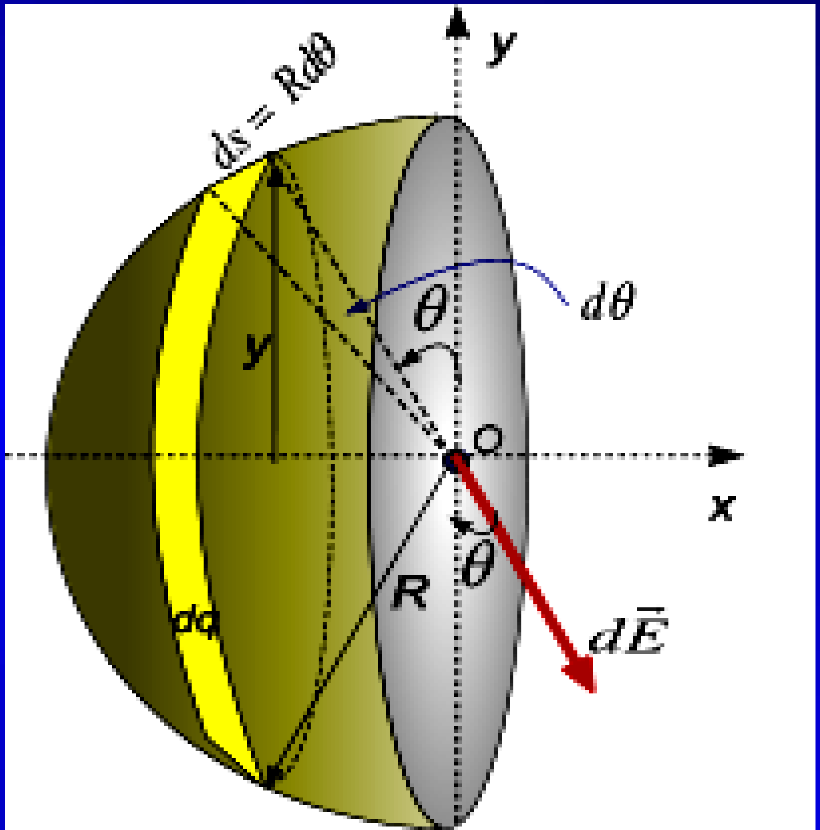
yace en el plano *z = 0* como se muestra en la figura. Determine la magnitud, dirección y sentido de la intensidad de campo eléctrico **E** en el punto P *(0, 0, 2)* m.



EJEMPLO 25

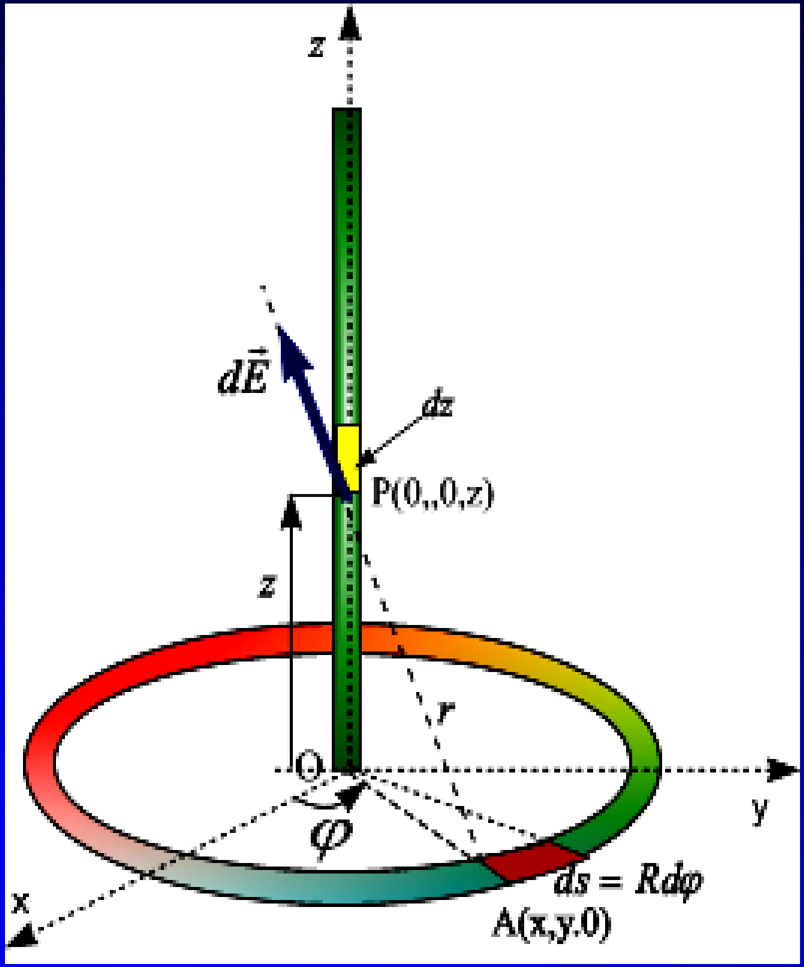
- Determine el campo eléctrico en el centro O de un cascarón semiesférico de radio R cargado con una densidad de carga superficial constante σ. Halle E si se sabe que la carga distribuida es Q = 1μC y R = 10 cm





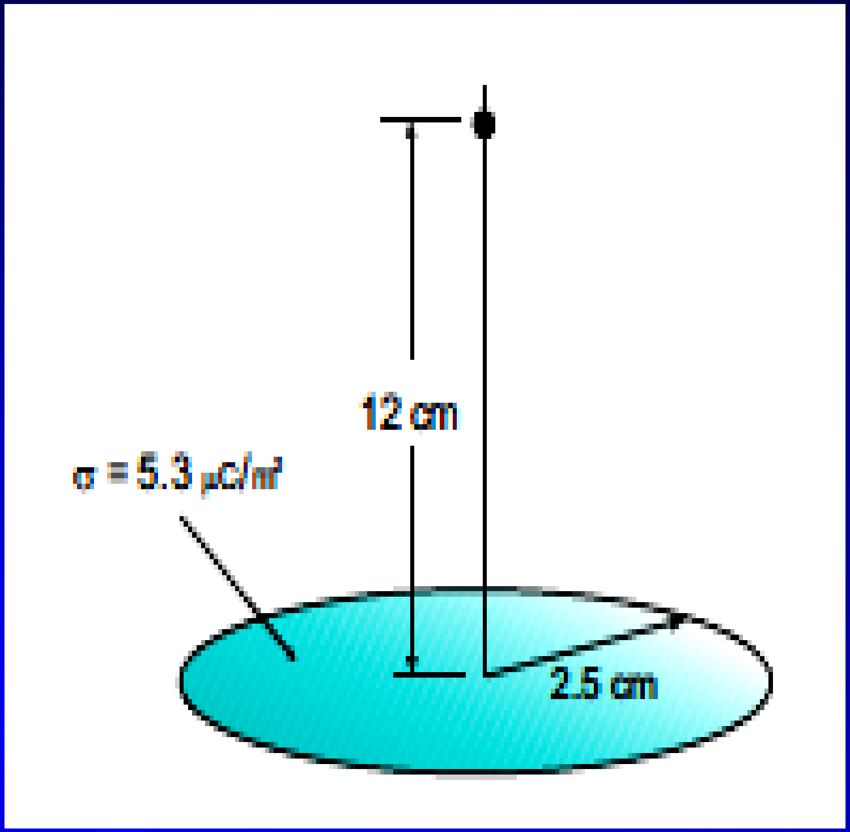
EJEMPLO 26

Un sistema se compone de un anillo de alambre fino de radio R cargado y de un hilo muy largo uniformemente cargado, dispuesto en el eje del anillo de modo que uno de sus extremos coincide con el centro de éste. El anillo tiene una carga *q*. A la unidad de longitud del hilo le corresponde una carga λ. Determine la fuerza de interacción entre el anillo y el hilo.



EJEMPLO 27

Un disco de radio 2,5 cm tiene una densidad de carga superficial de σ = 5,3 μC/m2. Determine la magnitud del campo eléctrico producido por el disco en el punto sobre su eje a una distancia *z* = 12 cm del disco?



2.7. Campo de una distribución volumétrica

- Divida a la distribución en elementos de carga de longitud *dV* y carga *dq* dada por .

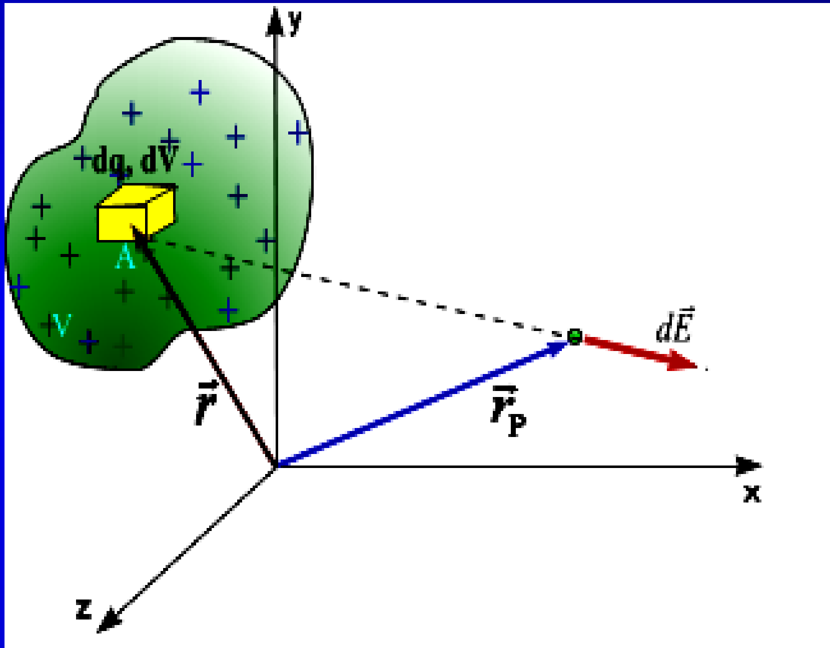
$$\rho(\vec{r}) = \lim_{\Delta V_i \to 0}\left(\frac{\Delta q}{\Delta V}\right) = \frac{dq}{dV}$$

- Determine el campo dE producido por el elemento diferencial de carga dq, esto es:

$$d\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq}{\left|\overrightarrow{AP}\right|^3}\left(\overrightarrow{AP}\right) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\rho(\vec{r})\,dA}{\left|\overrightarrow{AP}\right|^3}\left(\overrightarrow{AP}\right)$$

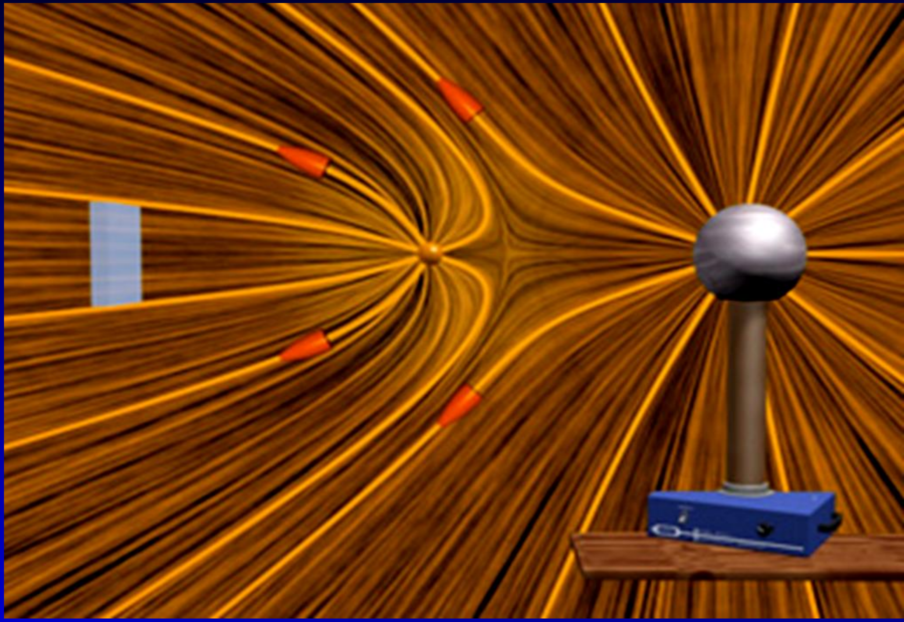
- Sume (integre) las contribuciones de todos los elementos

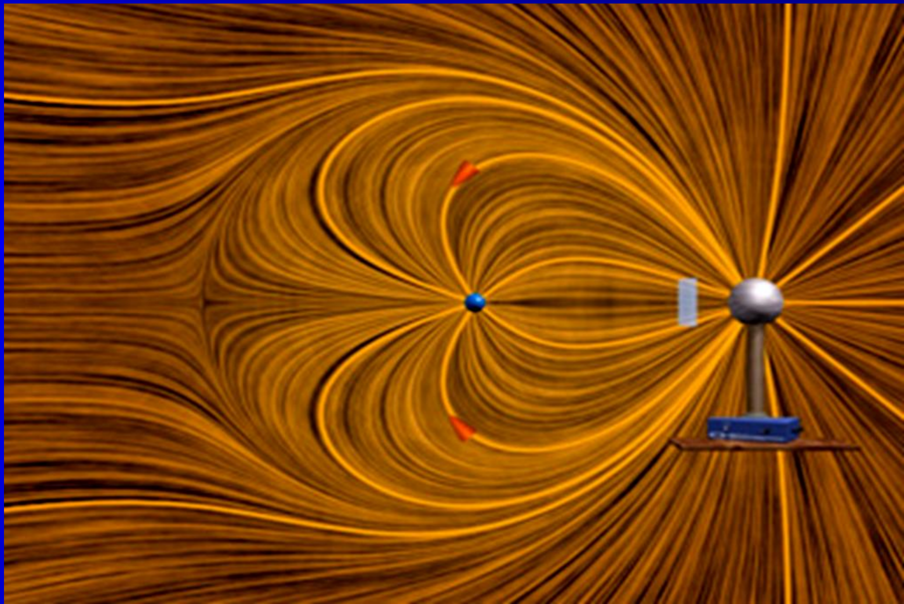
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\iiint_V \frac{\rho(\vec{r})\,dl}{\left|\overrightarrow{AP}\right|^3}\left(\overrightarrow{AP}\right)$$



2.8 LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO_1

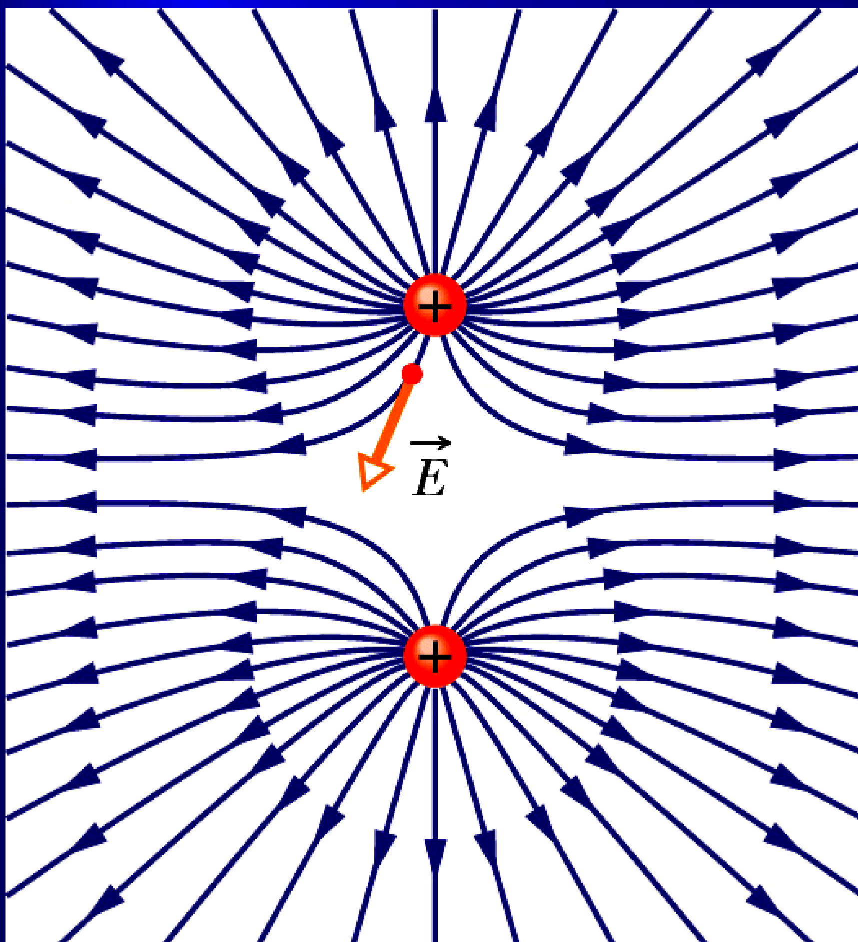
- Fueron inventadas por Faraday
- Son líneas imaginarias que permiten visualizar las interacciones eléctricos experimentadas por las cargas cuando se encuentran en el interior de campos.
- Permiten graficar campos eléctricos de distribuciones de carga

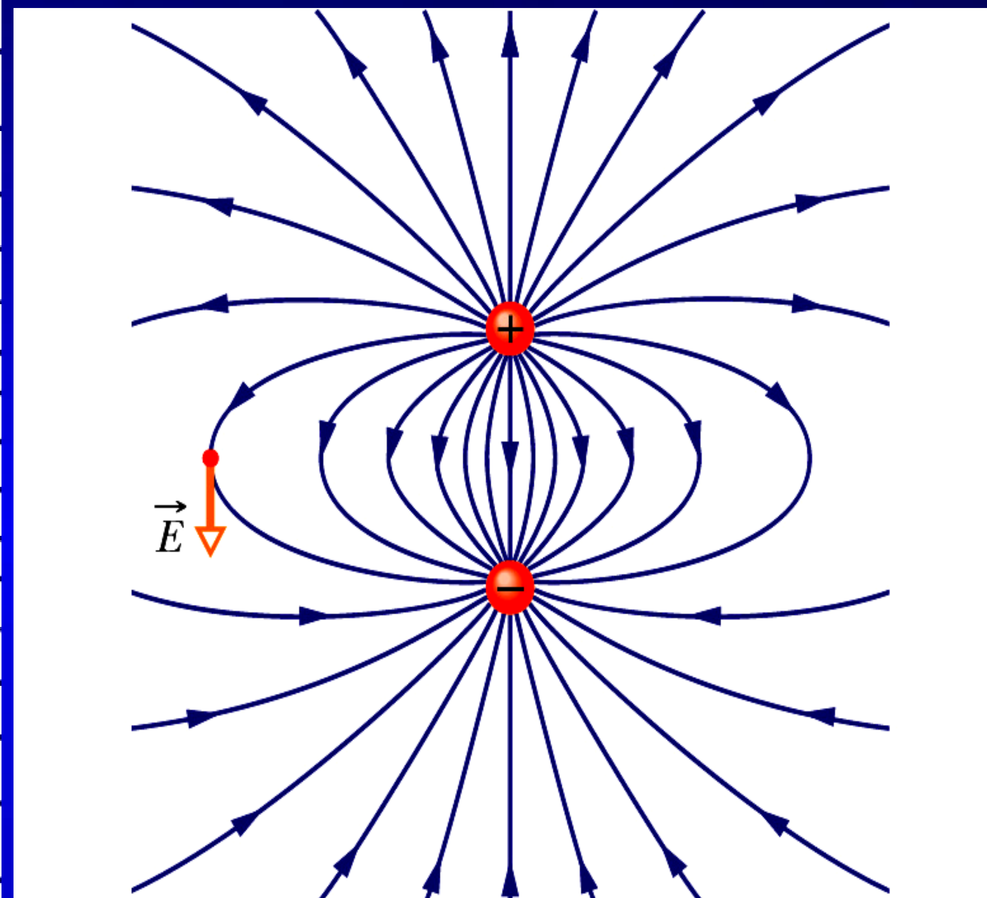




2.8 LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO_2

1. Las líneas de campo eléctrico se trazan de tal manera que la tangente a la línea de campo, en cada punto, especifique la dirección del campo eléctrico en ese punto.

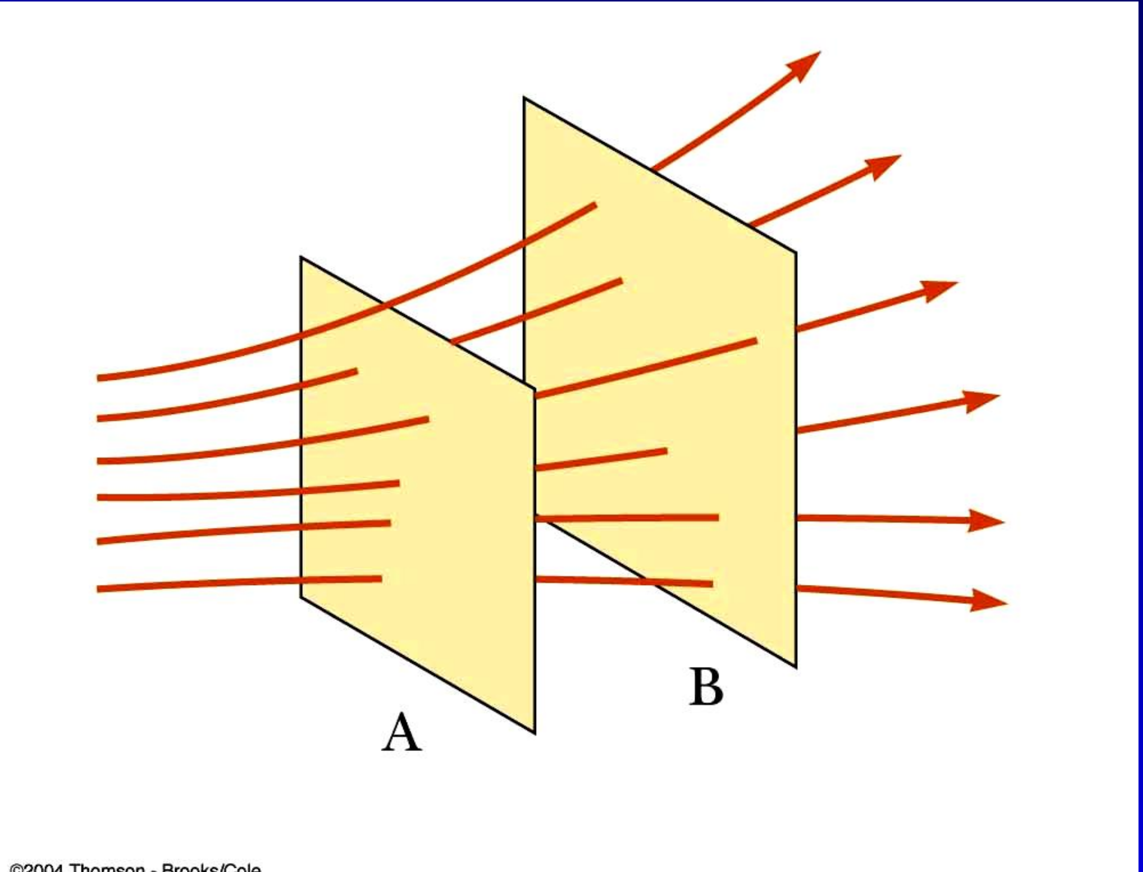




2.8 LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO_3

2. La densidad espacial de las líneas del campo eléctrico en determinado punto es proporcional a la intensidad de campo eléctrico en ese punto. Es decir el número de líneas por unidad de área perpendicular es proporcional a E

La densidad de líneas a través de la superficie A es mayor que en la superficie B. Es decir E es mayor en a que en B



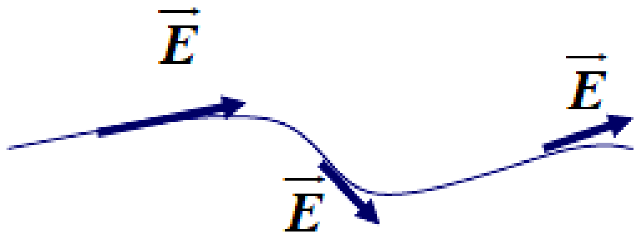
2.8. LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO_3

Los criterios que se siguen para trazar líneas de fuerza

- **La dirección del vector campo eléctrico en un punto dado es tangente a la línea de campo.**
- **El número de líneas por unidad de área que atraviesa una superficie perpendicular a la dirección de la línea, es proporcional a la magnitud del campo eléctrico en una región dada.**
- **Las líneas de campo comienzan en las cargas positivas (o en el infinito) y terminan en las cargas negativas o en el infinito.**
- **El número de líneas que tienen su origen o terminan en una carga negativa es proporcional a la magnitud de la carga**
- **Dos líneas de fuerza nunca se cruzan. Porque si lo hicieran el campo en un mismo punto tendría dos direcciones diferentes, lo que es imposible.**

Líneas de campo eléctrico

Una línea de campo es una trayectoria tal que el campo es tangente a ella en cada punto.



Matemáticamente:

$$d\vec{r} \times \vec{E} = 0$$

$$\left.\begin{aligned} d\vec{r} &= dx\,\vec{i} + dy\,\vec{j} + dz\,\vec{k} \\ \vec{E} &= E_x\,\vec{i} + E_y\,\vec{j} + E_z\,\vec{k} \end{aligned}\right\}$$

$$\boxed{\frac{dx}{E_x} = \frac{dy}{E_y} = \frac{dz}{E_z}}$$

Ecuación de las líneas de campo

FIG. (a) líneas de campo eléctrico de una carga puntual positiva,

La líneas de fuerza se dibujan simétricamente saliendo de la carga puntual

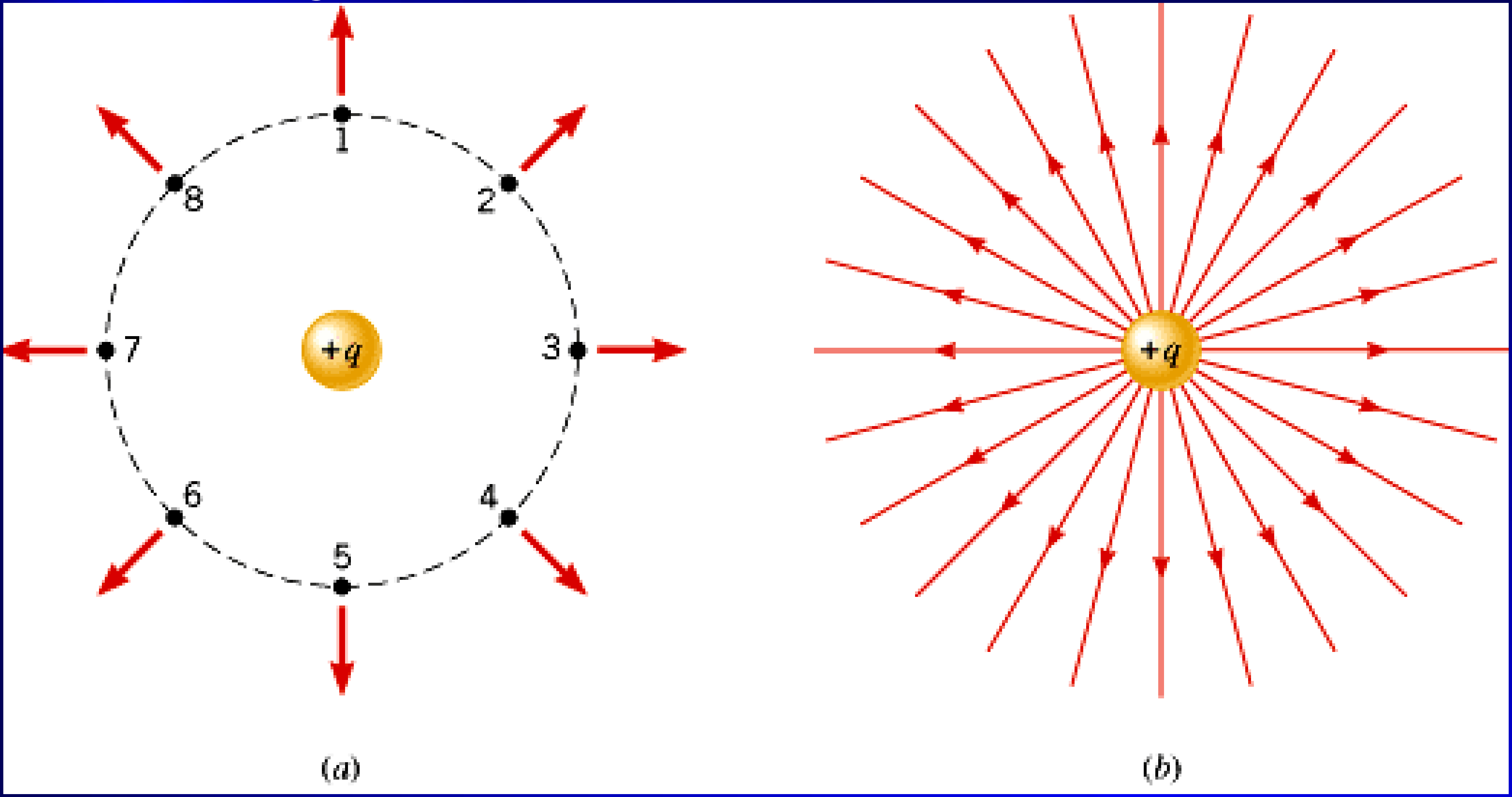
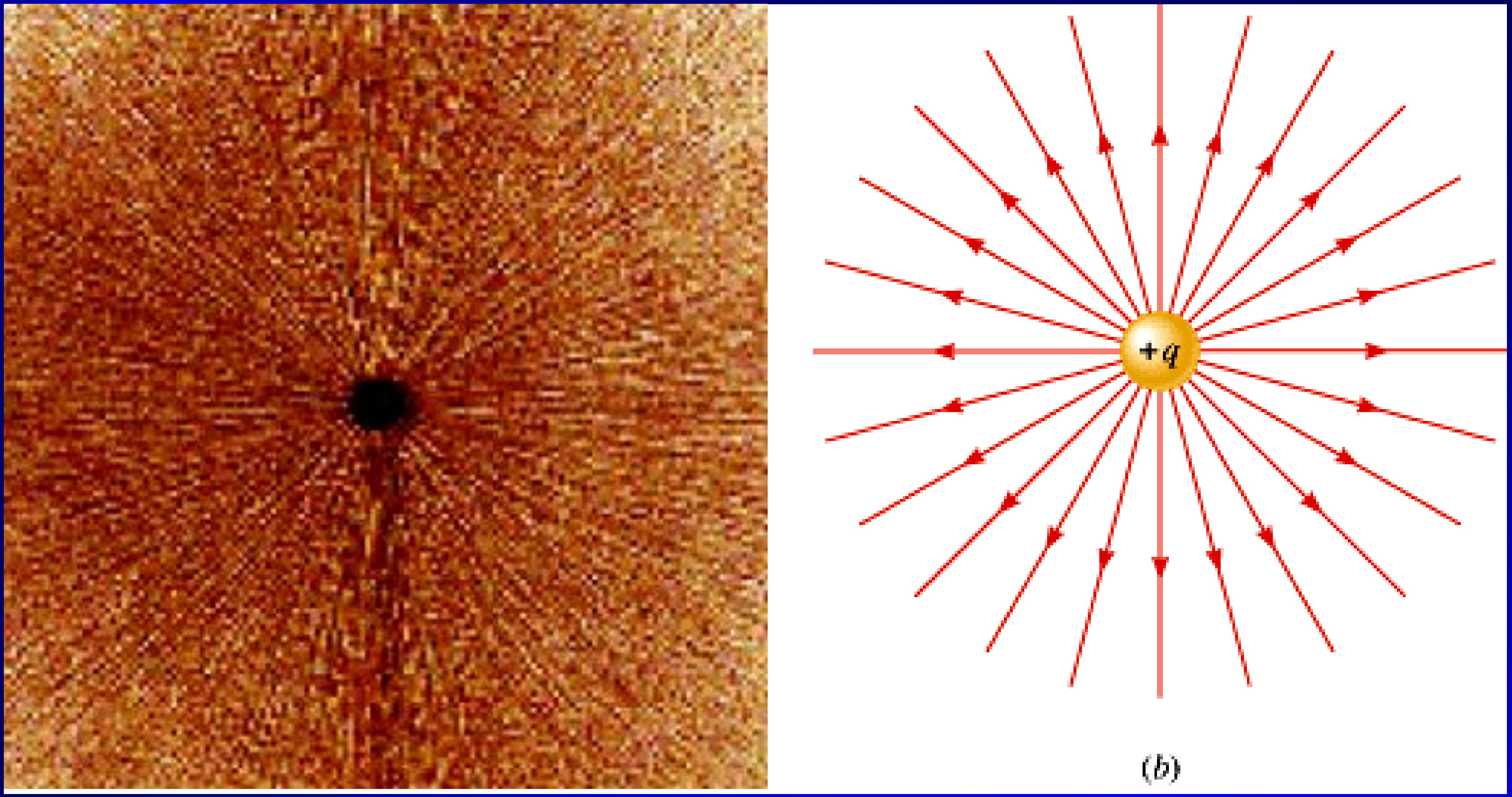


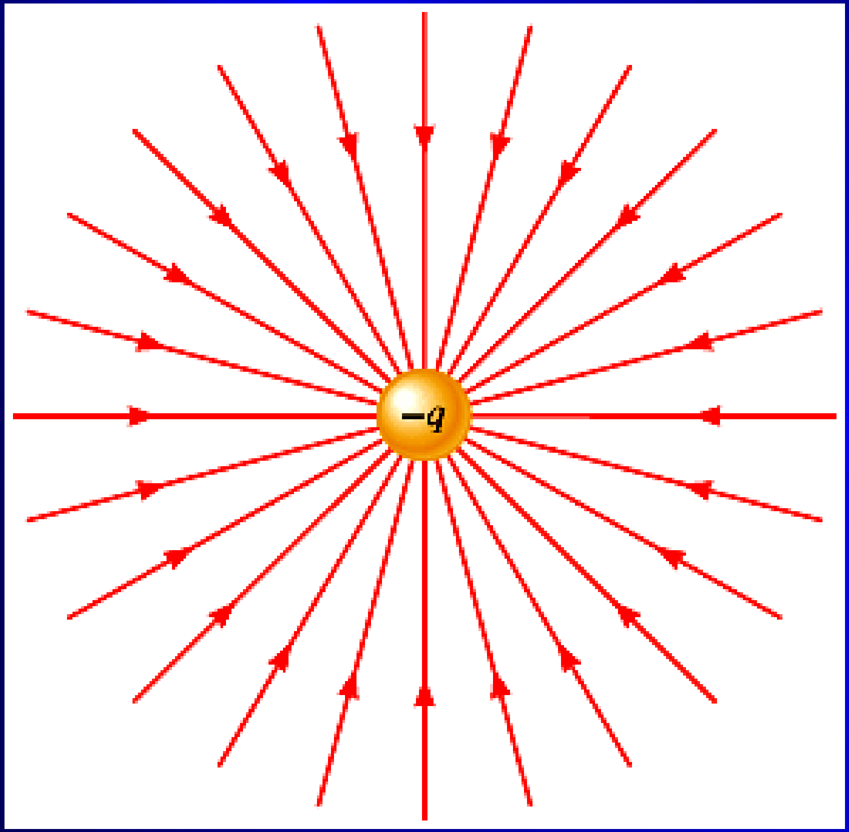
FIG. (a) líneas de campo eléctrico de una carga puntual positiva,

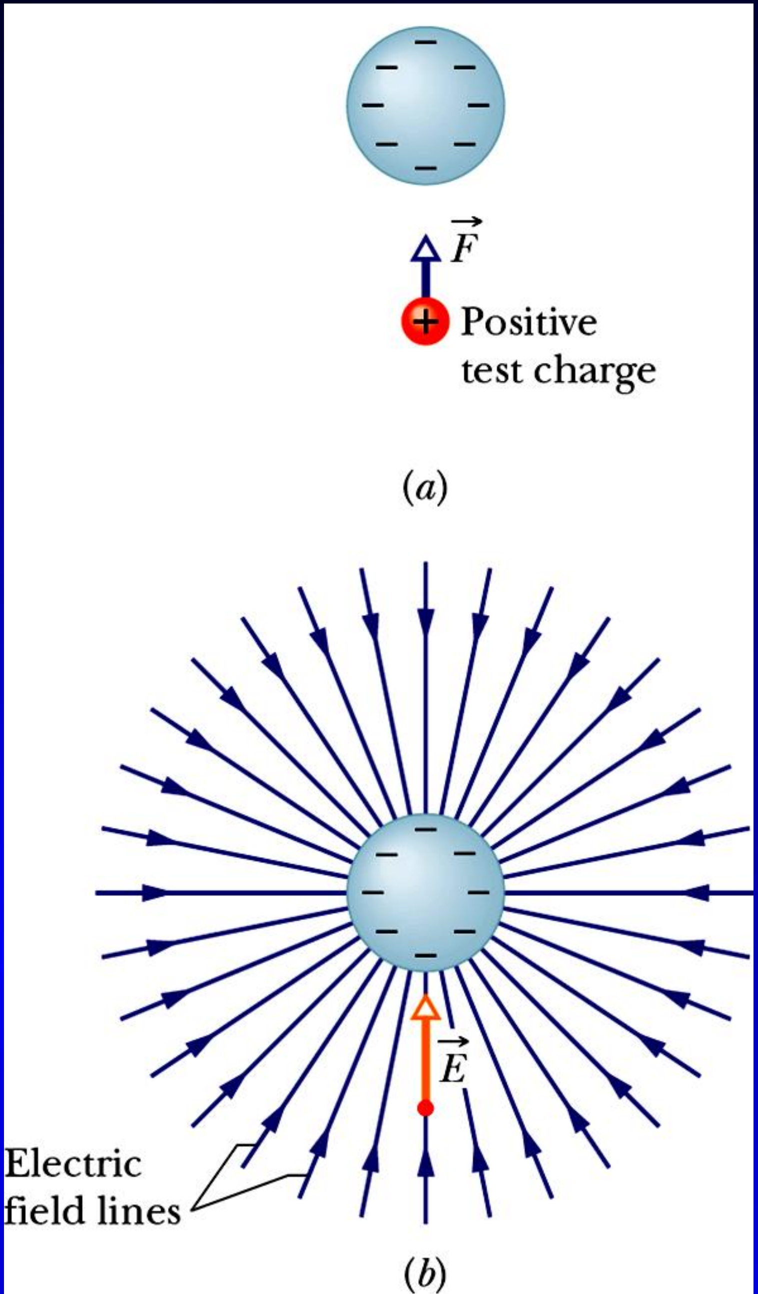
La líneas de fuerza se dibujan simétricamente saliendo de la carga puntual



Líneas de campo eléctrico de una carga individual negativa

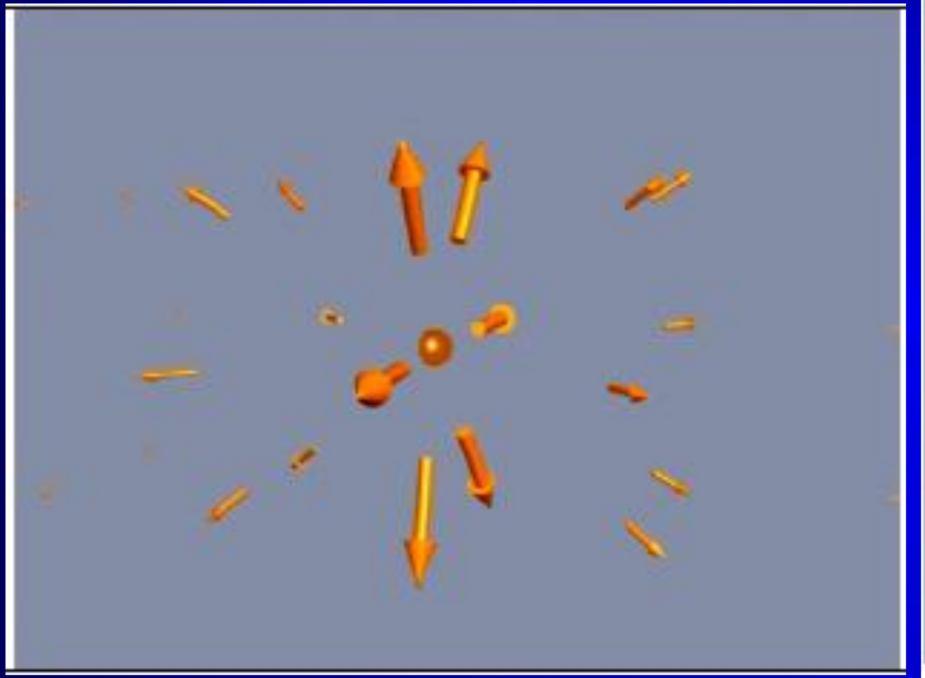
La líneas de fuerza se dibujan ingresando a la carga negativa

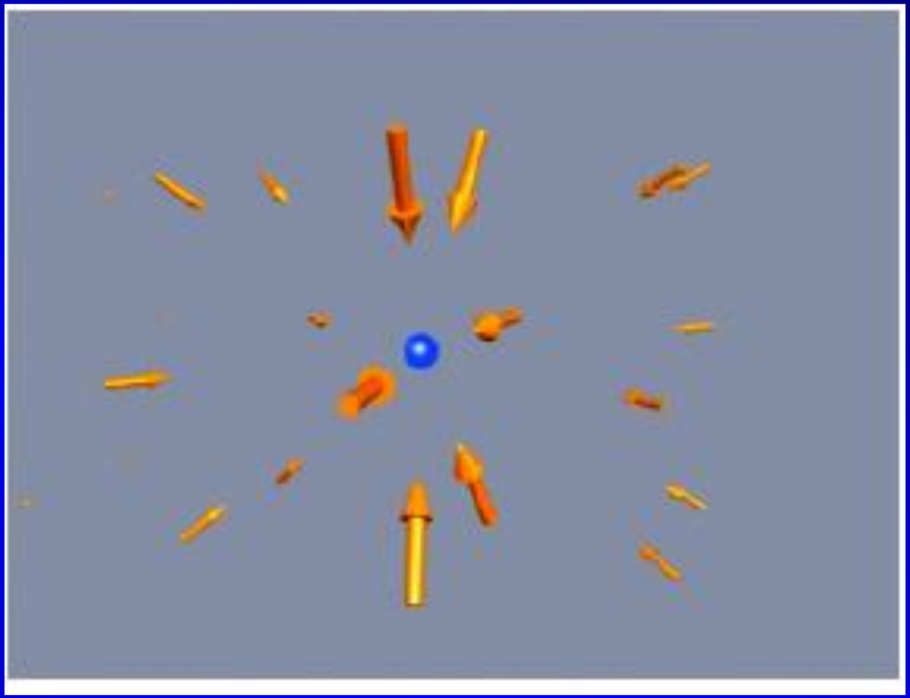




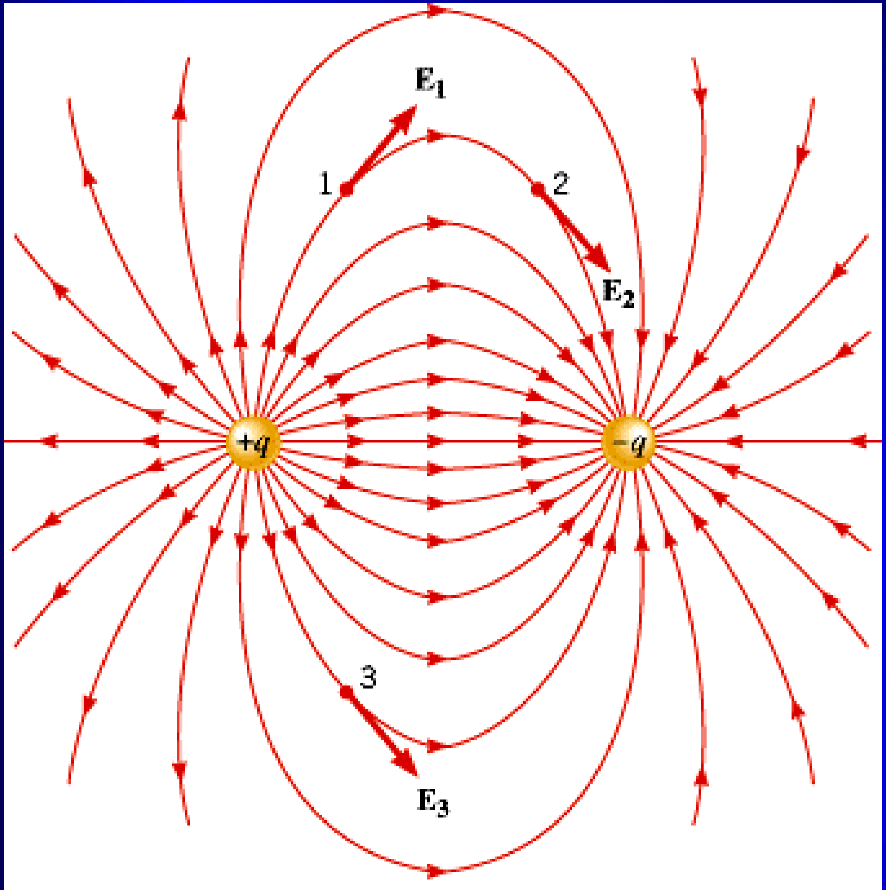
Líneas de fuerza en tres dimensiones

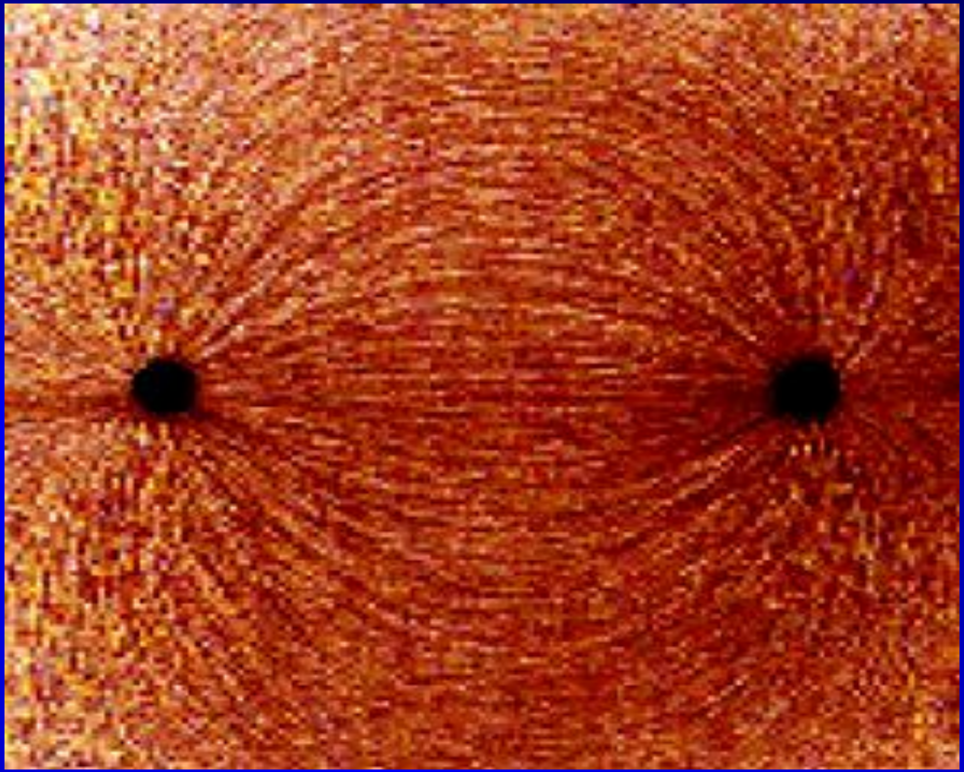
- Las líneas de campo eléctrico son tridimensionales



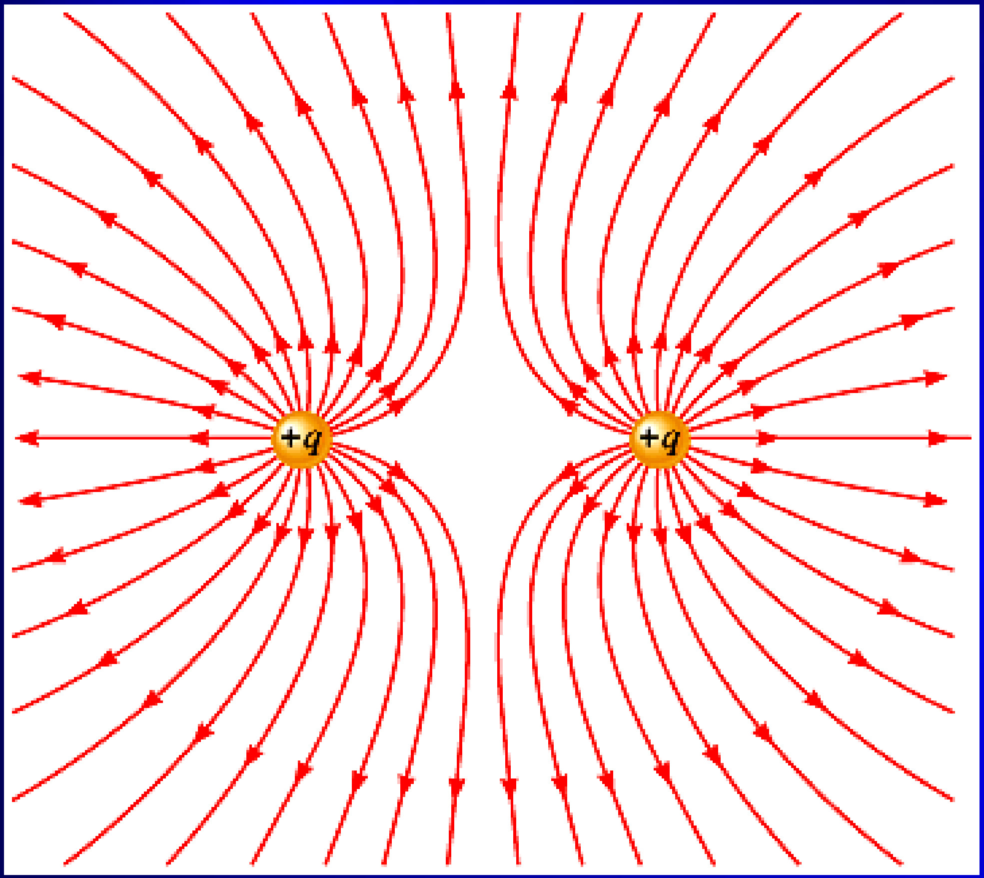


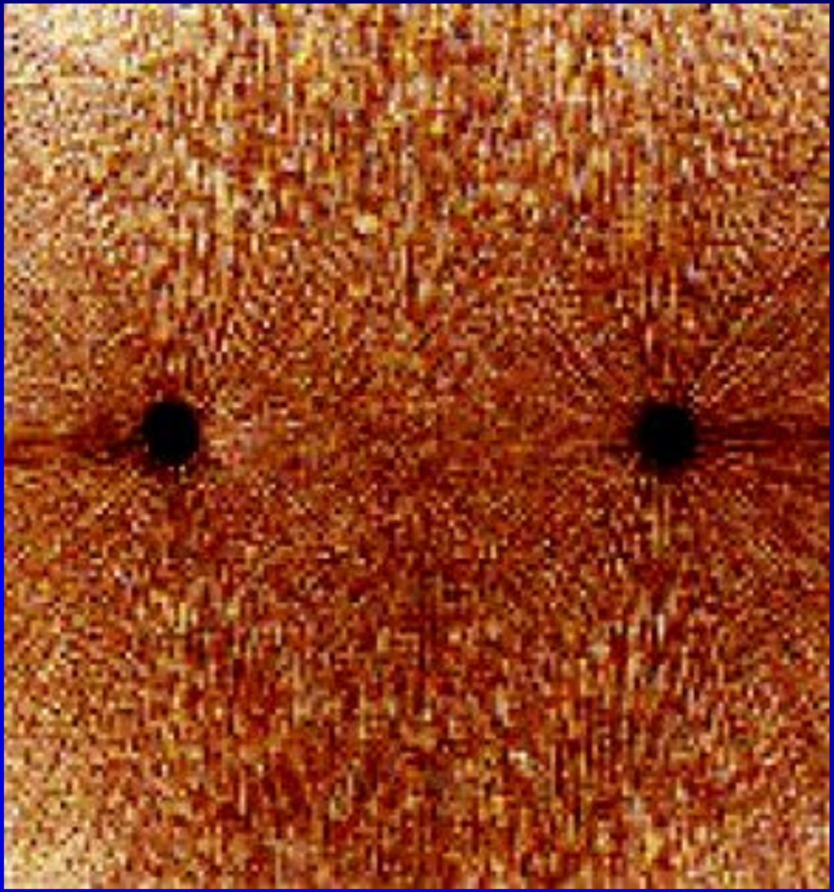
Líneas de campo eléctrico dos cargas puntuales una positiva y otra negativa situadas a una distancia pequeña- (DIPOLO ELECTRICO)





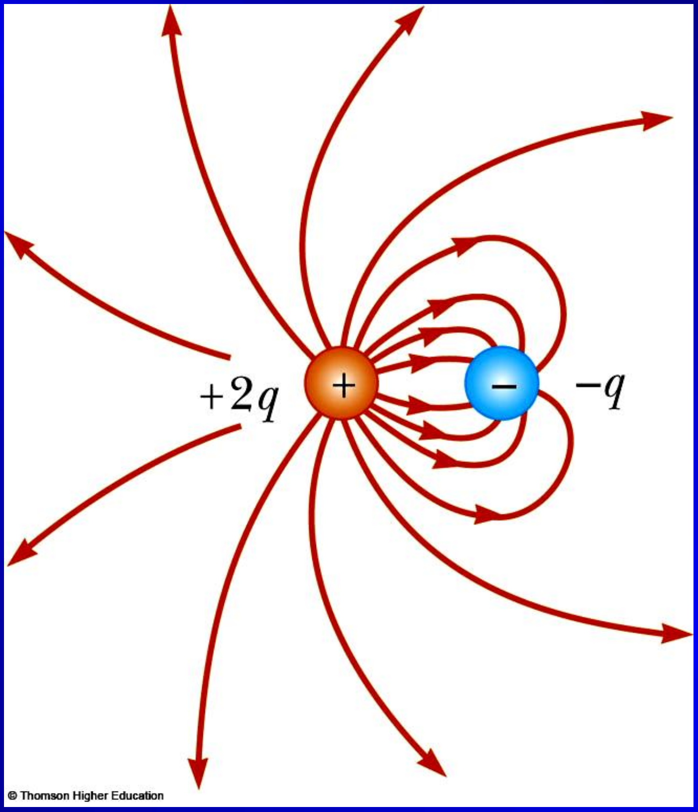
Líneas de campo eléctrico de dos carga puntuales positivas



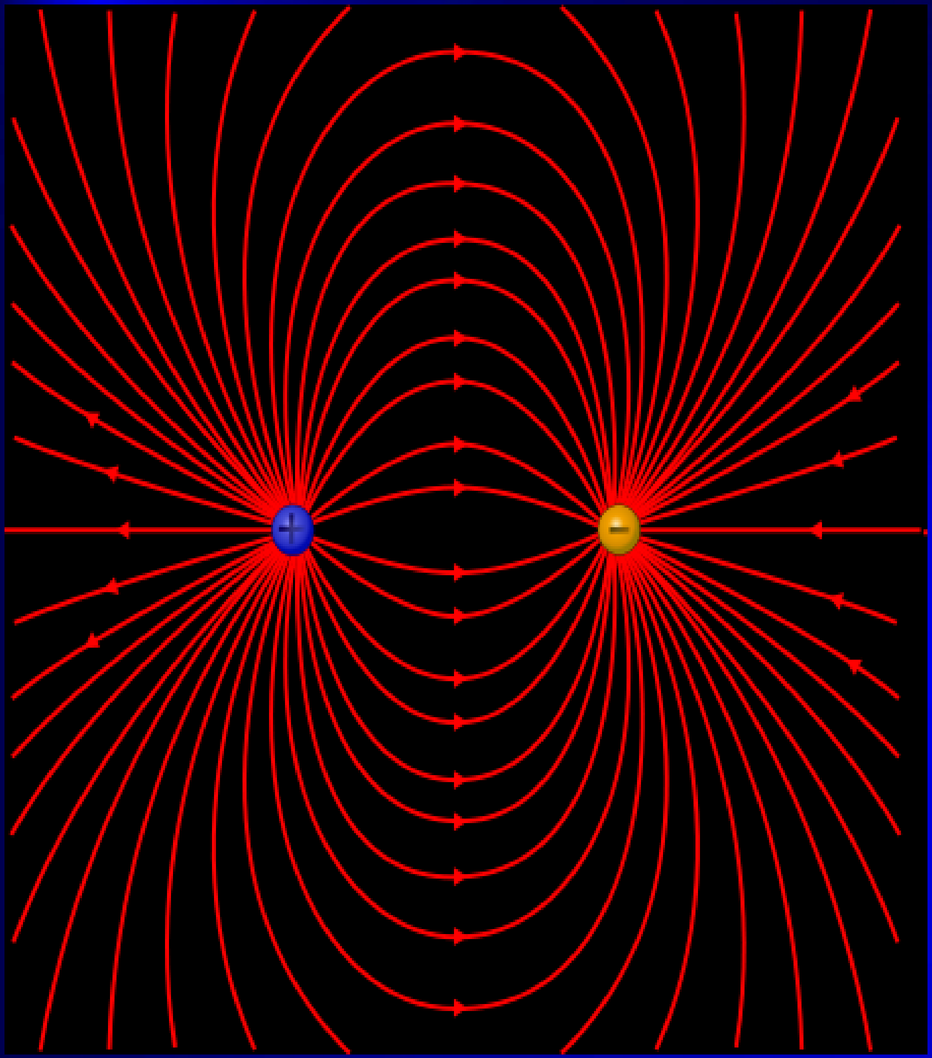


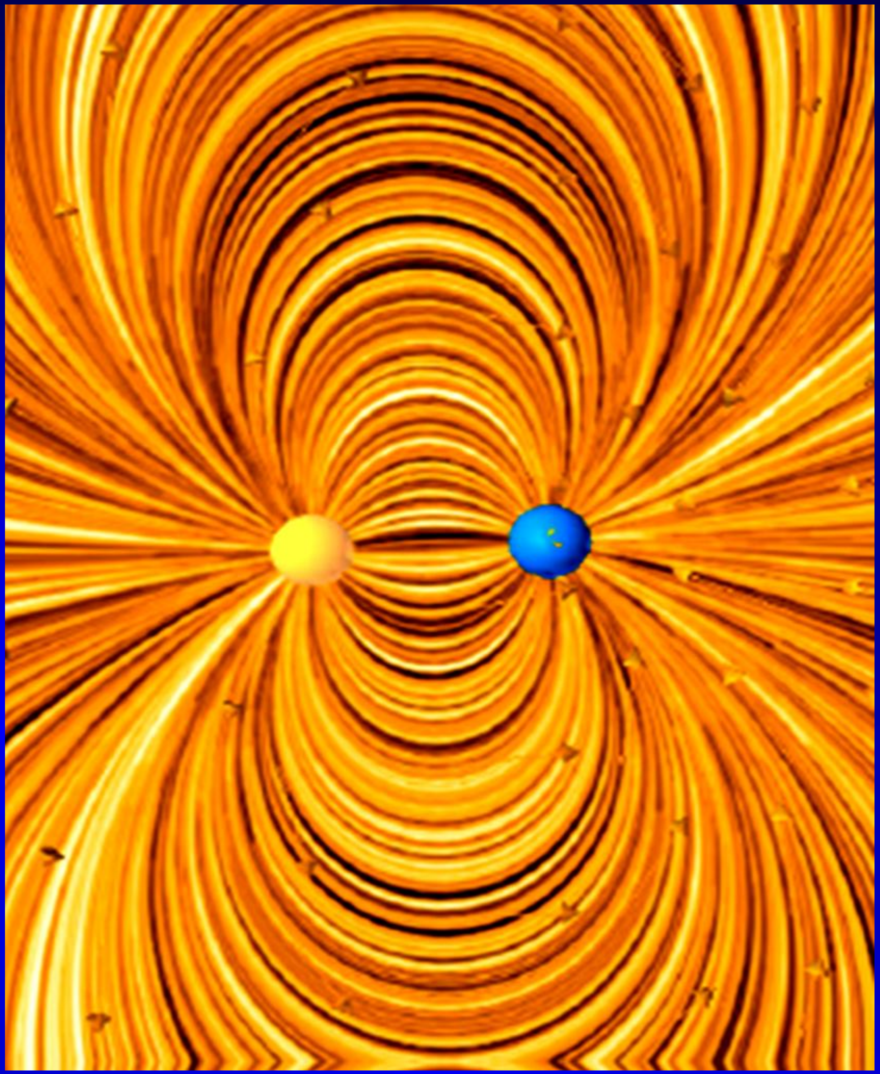
Líneas de campo eléctrico para dos cargas de diferente módulo

- El numero de líneas que sale de la carga positiva es el doble de las que ingresan en la carga negativa



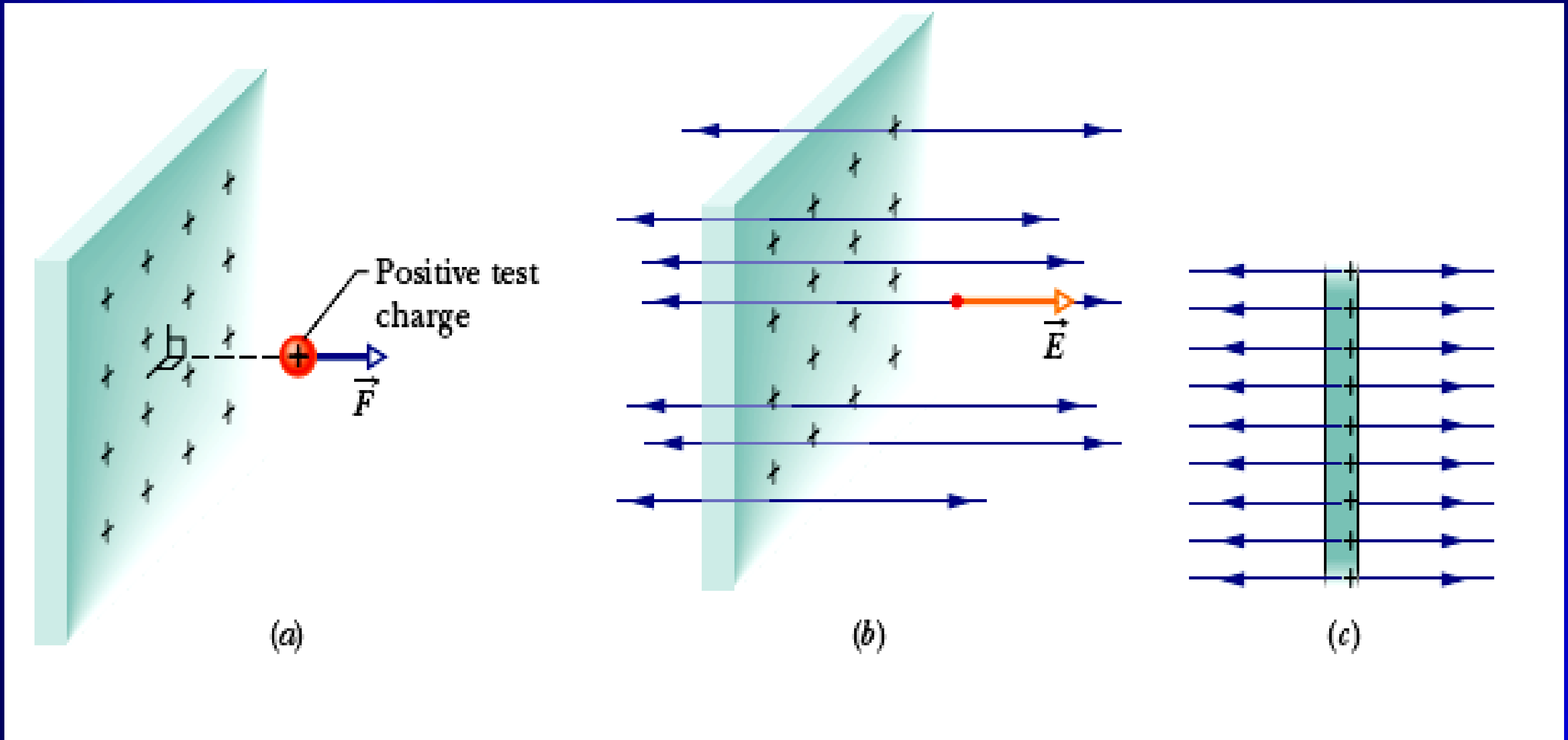
LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO DE UNA ESTRUCTURA DIPOLAR



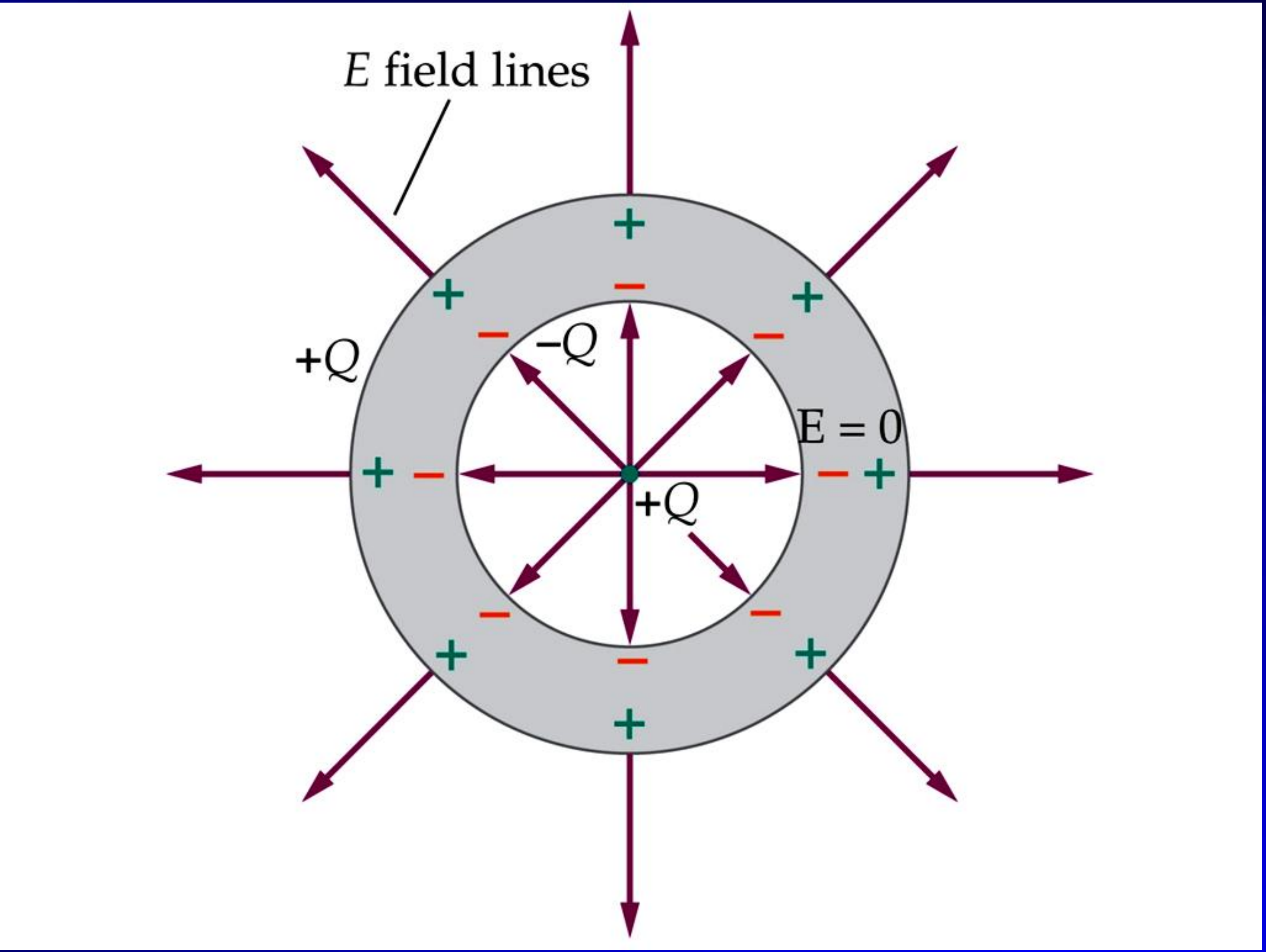


LÍNEAS DE CAMPO PARA UN PLANO INFINITO

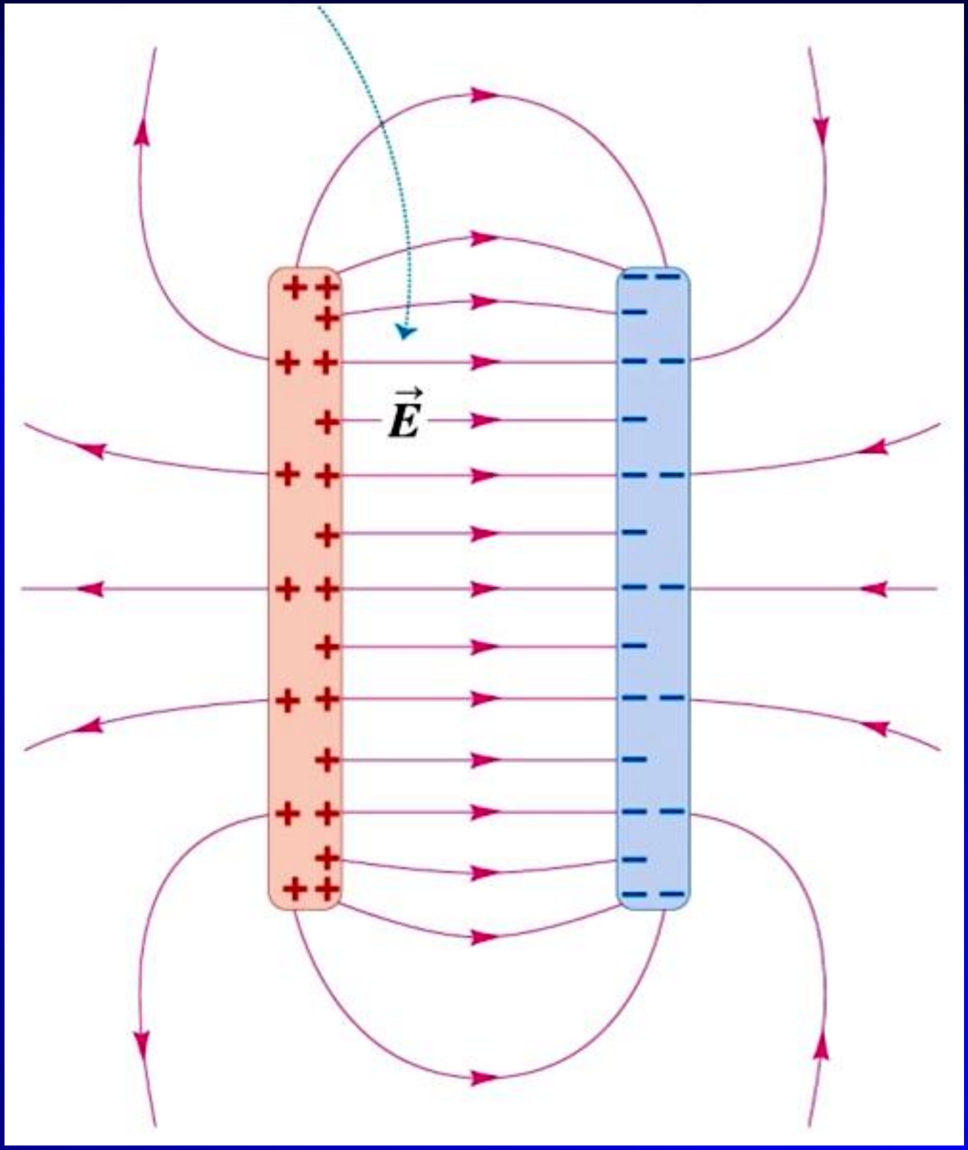
- En la figura se muestra las líneas de fuerza de un plano no conductor infinito sobre la cual se ha distribuido una densidad de carga uniforme.
- Esta distribución genera un campo eléctrico uniforme



CAMPO ELÉCTRICO EN CONDUCTORES

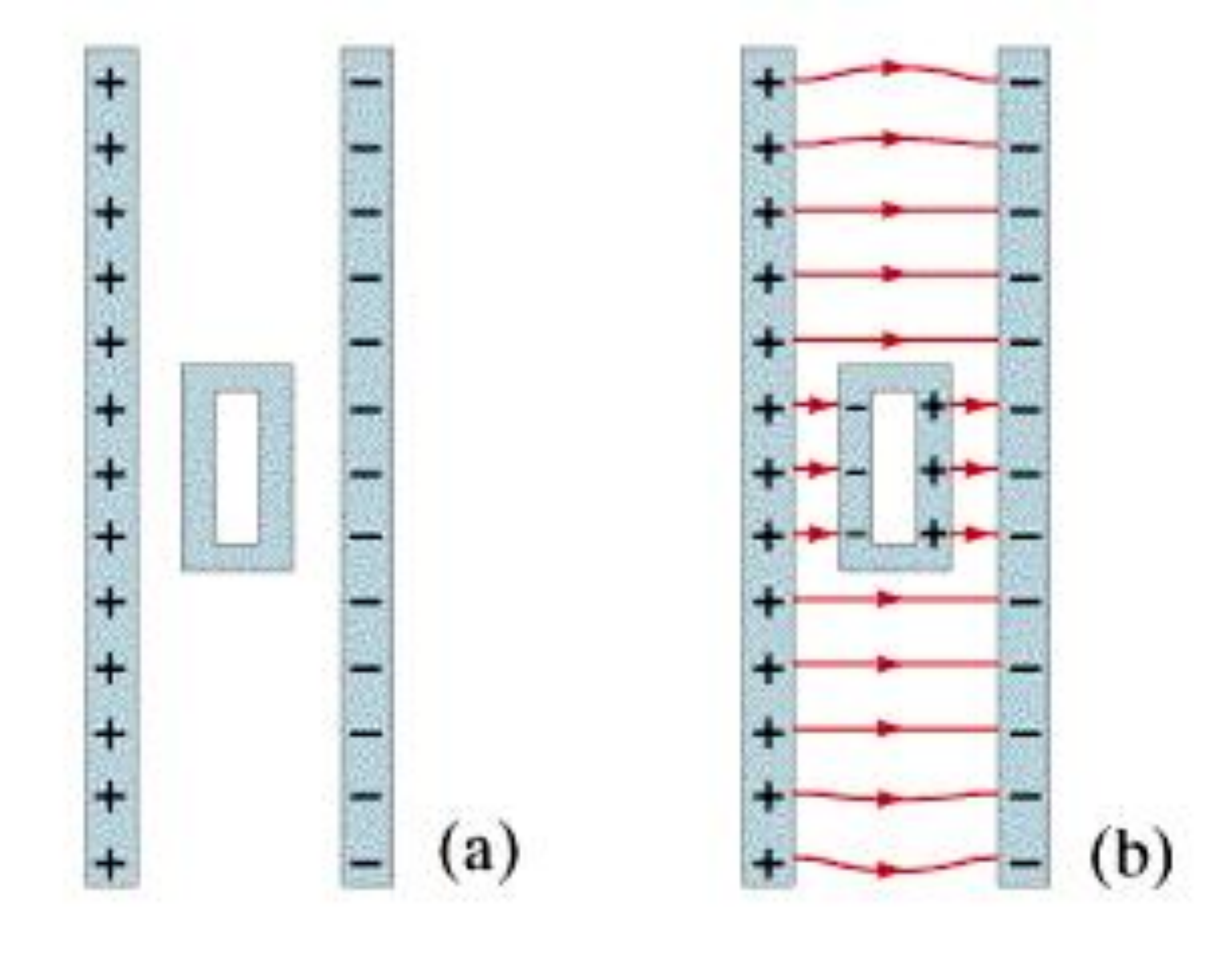


CAMPO ELÉCTRICO ENTRE PLACAS CONDUCTORAS



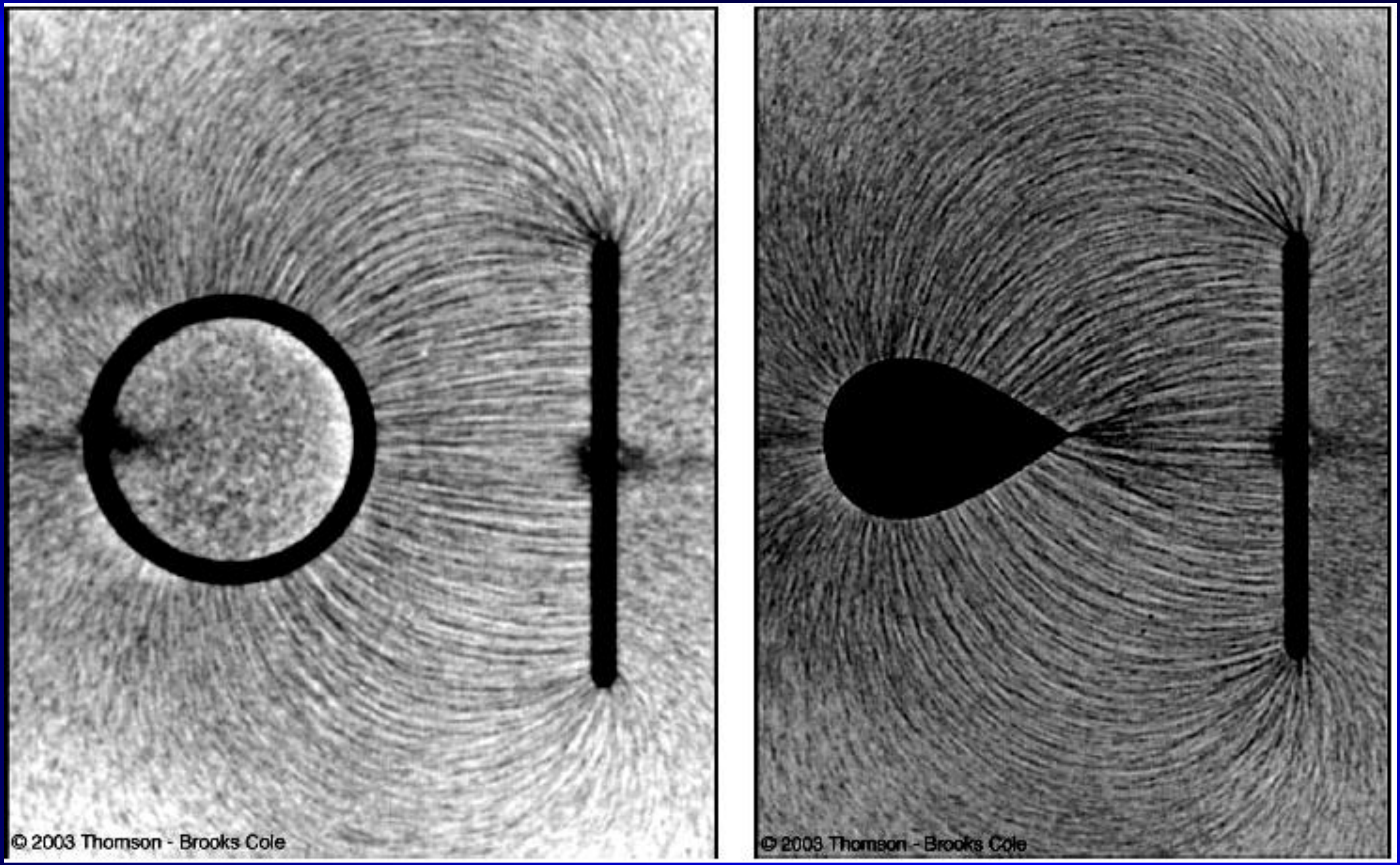
BLINDAJE ELECTROSTÁTICO

- El campo eléctrico en el interior de un conductor es nulo



LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO PARA UN ANILLO

Líneas de campo para configuraciones diversas



2.9. FUERZA SOBRE UNA PARTÍCULA CARGADA EN UN CAMPO ELECTRICO.

- Consideremos el movimiento de una partícula cargada dentro de un campo homogéneo.
- La partícula experimenta la acción de una fuerza debido al campo

$$\vec{F}_e = q\vec{E}$$

- Aplicando la ley de Newton

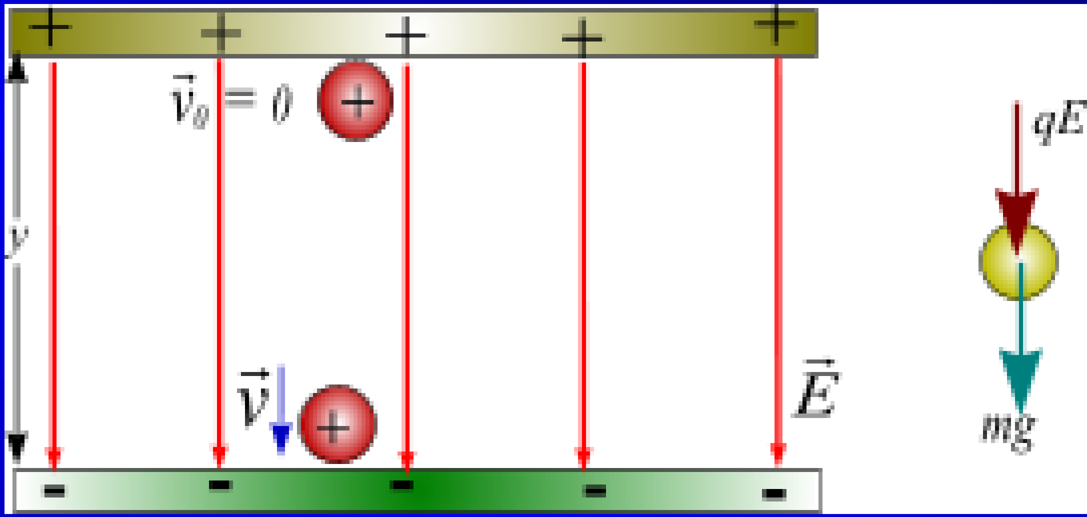
$$\sum \vec{F} = m\vec{a}_y$$

$$\vec{F}_e + \vec{F}_g = m\vec{a}_y$$

$$-qE\vec{j} - mg\vec{j} = m\vec{a}_y$$

$$-\left(qE + mg\right)\vec{j} = m\vec{a}_y$$

$$\vec{a}_y = -\left(\frac{qE}{m} + g\right)\vec{j}$$



2.9. FUERZA SOBRE UNA PARTÍCULA CARGADA EN UN CAMPO ELECTRICO.

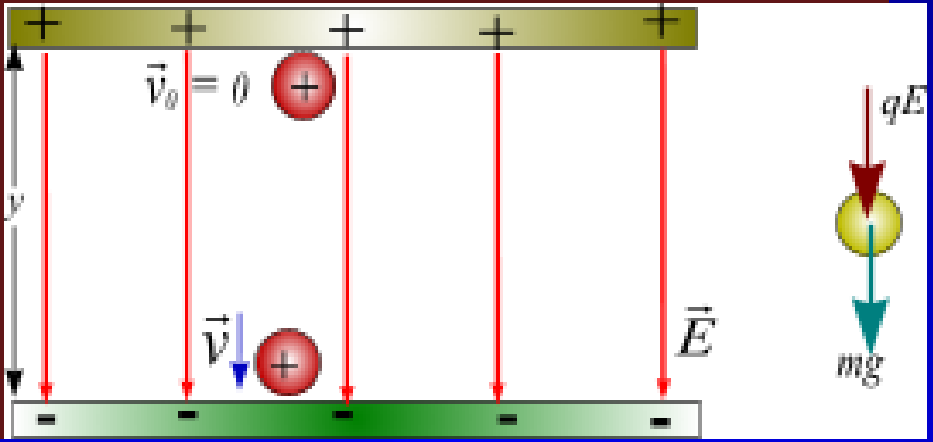
- Si se desprecia el peso resulta

$$\vec{a}_y = -\left(\frac{qE}{m}\right)\vec{j}$$

- La velocidad y su energía cinética son

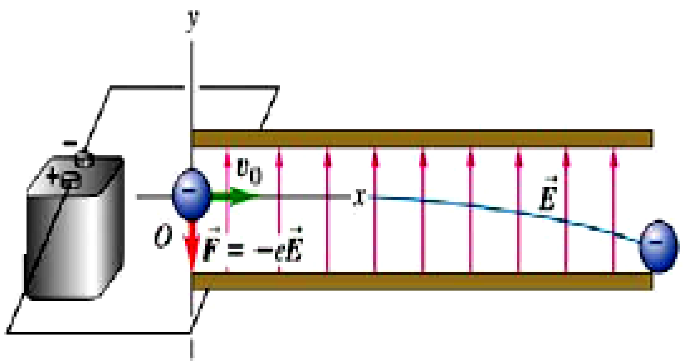
$$v = \sqrt{2\left|a_y\right| y} = \sqrt{2\frac{qE}{m}y}$$

$$E_K = \frac{1}{2}\left(\sqrt{2\frac{qE}{m}y}\right)^2 = \frac{qE}{m}y$$



Movimiento de cargas puntuales dentro de un campo eléctrico

Si se conoce el campo E, se puede determinar la relación carga-masa de la partícula: (Experimento de Thomson, 1897)



$$\vec{\mathbf{a}} = -\boxed{\frac{eE}{m}}\,\boxed{\vec{\mathbf{j}}}$$

$$\vec{\mathbf{a}} \;\|\; a_y$$

relación carga-masa del e^-

unitario en la dirección vertical y

La trayectoria del e- es una parábola:

$$\begin{cases} v_x = \text{cte} \longrightarrow x_f = \boxed{v_0}\,t \\ v_y = a_y t \longrightarrow \boxed{y_f} = \dfrac{1}{2} a_y t^2 \end{cases}$$

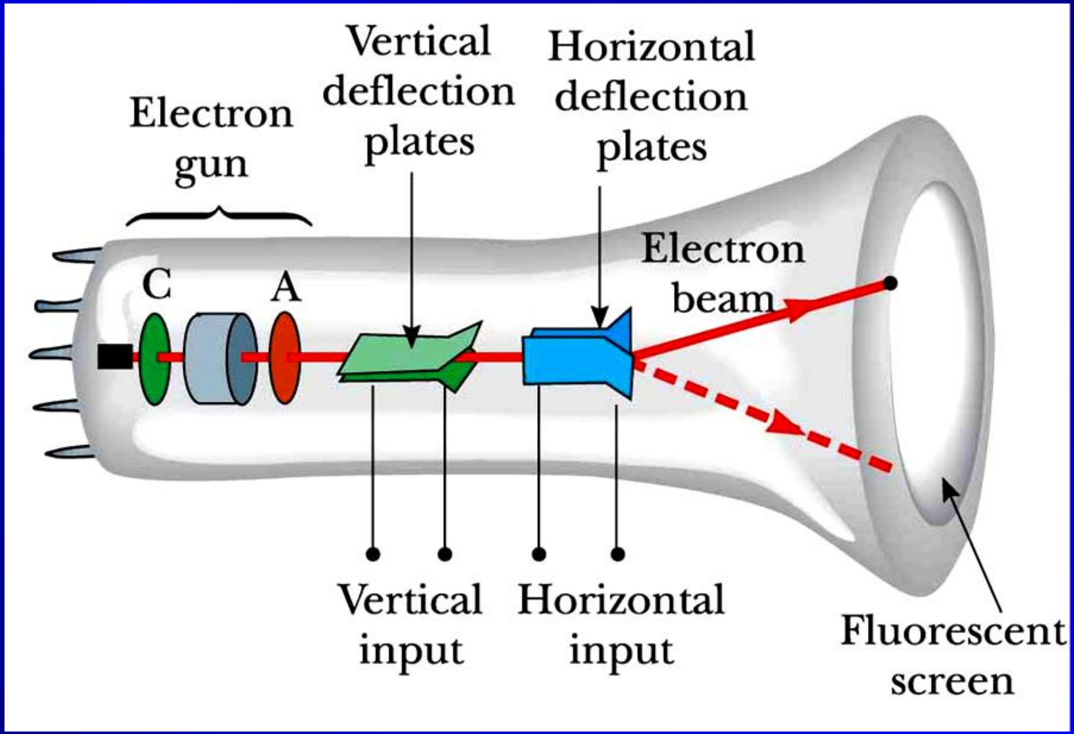
velocidad inicial

desplazamiento vertical

El tubo de rayos catódicos

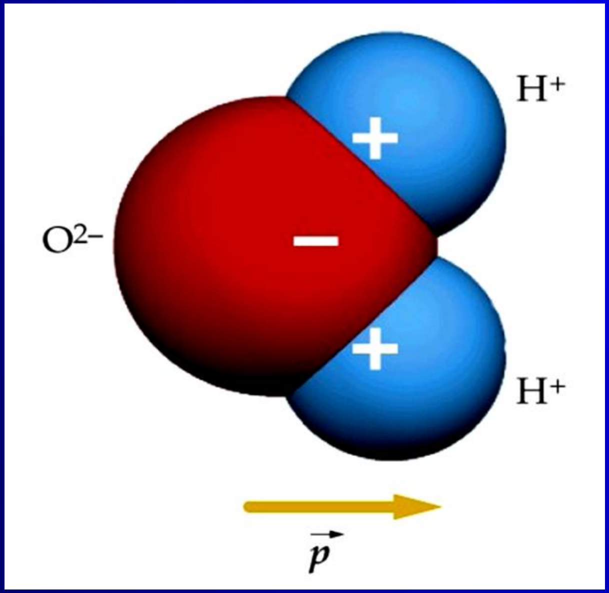
- Se usa para obtener visualmente información electrónica en osciloscopios, sistemas de radar receptores de televisión y monitores de computadora.

- Consta de un tubo al vacio en el que se aceleran electrones que son desviados por campos magnéticos o eléctricos



DIPOLO ELECTRICO

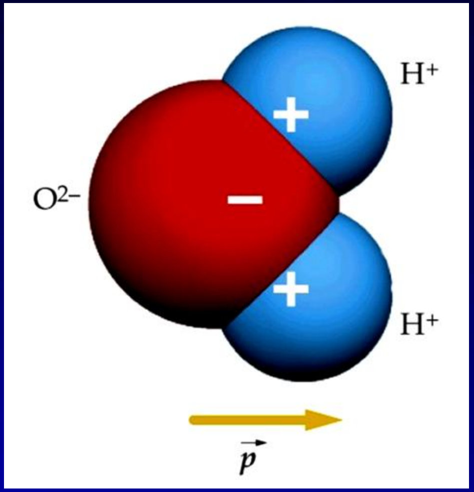
- El dipolo eléctrico es un sistema formado por dos cargas puntuales iguales en magnitud pero de signo opuesto $+q$ y $-q$ separadas por un distancia muy pequeña $2a$ en comparación con la distancia de las cargas al punto donde se determina el campo eléctrico.
- Son ejemplos de dipolos molécula del agua H_2O, el NaCl

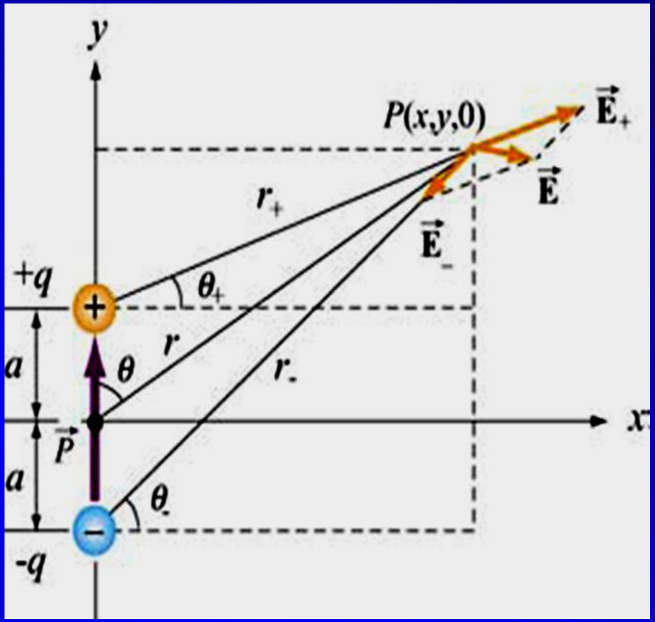


Campo de un dipolo

El dipolo eléctrico es un sistema formado por dos cargas puntuales iguales en magnitud pero de signo opuesto $+q$ y $-q$ separadas por un distancia muy pequeña $2a$ en comparación con la distancia de las cargas al punto donde se determina el campo eléctrico.

- Son ejemplos de dipolos el agua, el NaCl





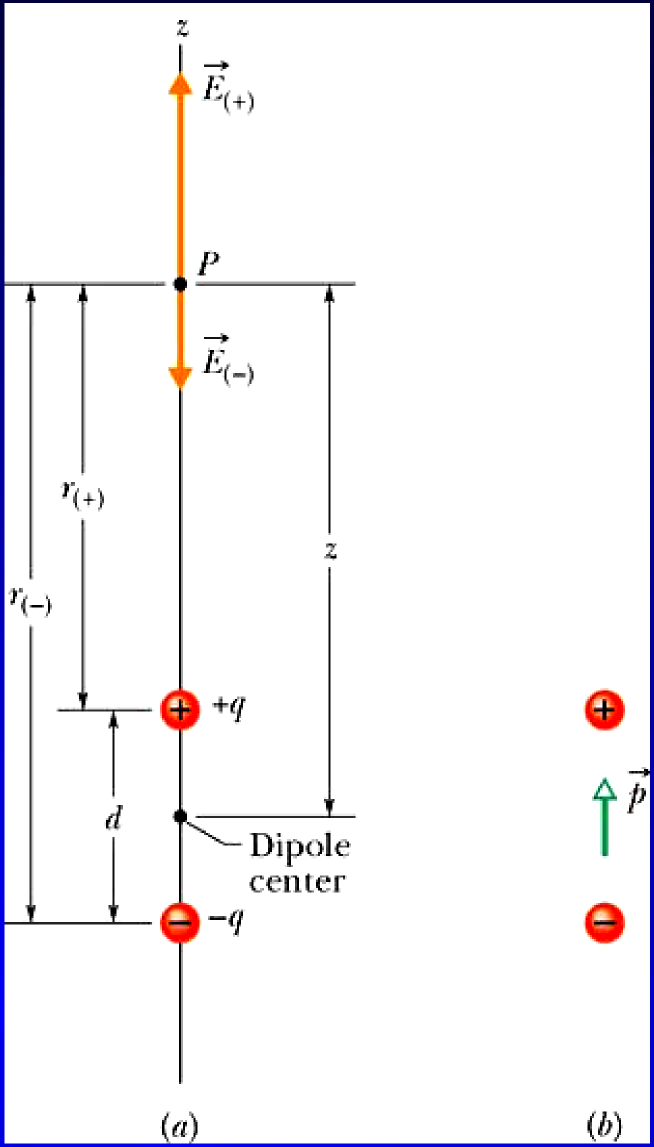
Momento dipolar de un dipolo

- El momento dipolar **p**, es una cantidad vectorial dirigida desde la carga negativa *–q* a la carga positiva *+q*; su magnitud es igual producto de la carga *q* por la distancia de separación entre carga *2a*. Por tanto el momento dipolar es

$$\boxed{\vec{p} = 2qa\vec{e}_p}$$

- Para un sistema de carga promedio neutra el cual tiene *N* dipolos, el vector momento dipolar es definido como

$$\boxed{\vec{p} = \sum_{i=1}^{N} q_i \vec{r}_i}$$



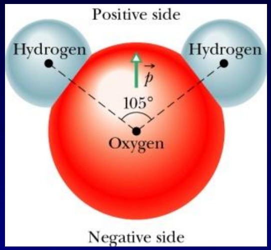
Ejemplo: Capo electrico de un dipolo

- El campo electrico del dipolo será

$$E = E_+ - E_- = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r_+^2} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r_-^2}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{(z-d/2)^2} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{(z+d/2)^2}$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 z^2}[(1-\frac{d}{2z})^{-2} - (1+\frac{d}{2z})^{-2}]$$



- Si d << z, entonces ,

$$[(1-\frac{d}{2z})^{-2} - (1+\frac{d}{2z})^{-2}] = [(1+\frac{2d}{2z(1!)}+\ldots)-(1-\frac{2d}{2z(1!)}+\ldots)] \approx \frac{2d}{z}$$

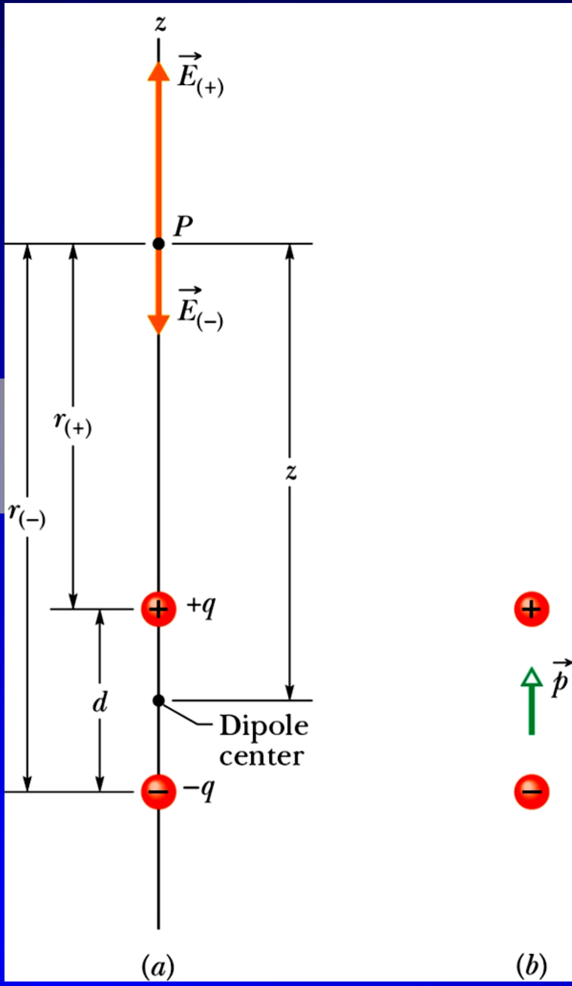
- Tal que

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 z^2}\frac{2d}{z} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{qd}{z^3}$$

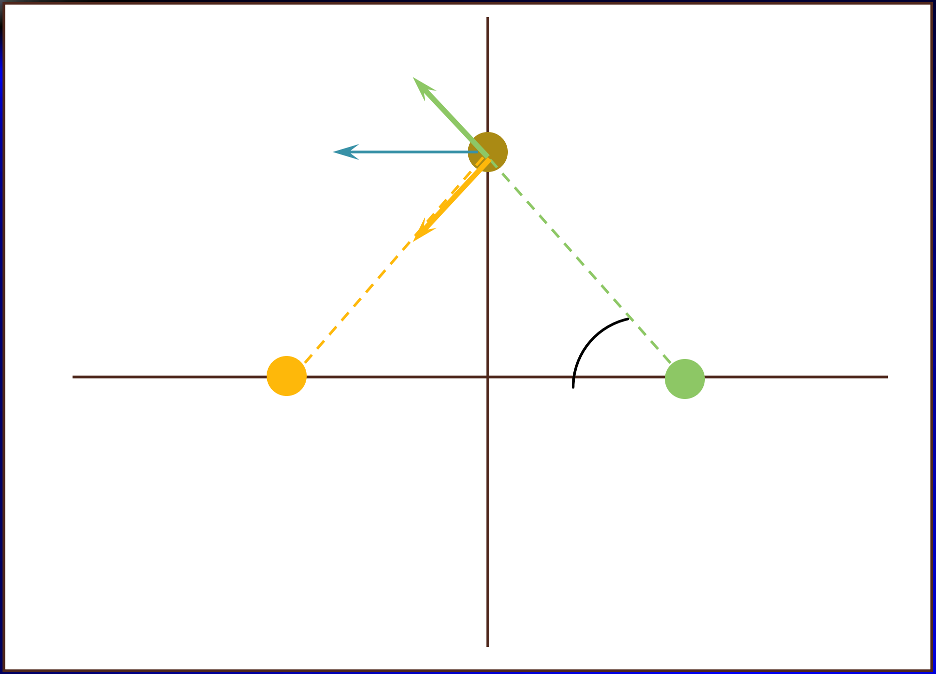
$$p = qd$$

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{p}{z^3}$$

- ✓ $E \sim 1/z^3$
- ✓ E =>0 as d =>0



Campo eléctrico de un dipolo



Similarmente para la carga negativa

$$\vec{E}_{-x} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{-q(-a)}{\left((-a)^2 + y^2\right)^{3/2}}\hat{i}$$

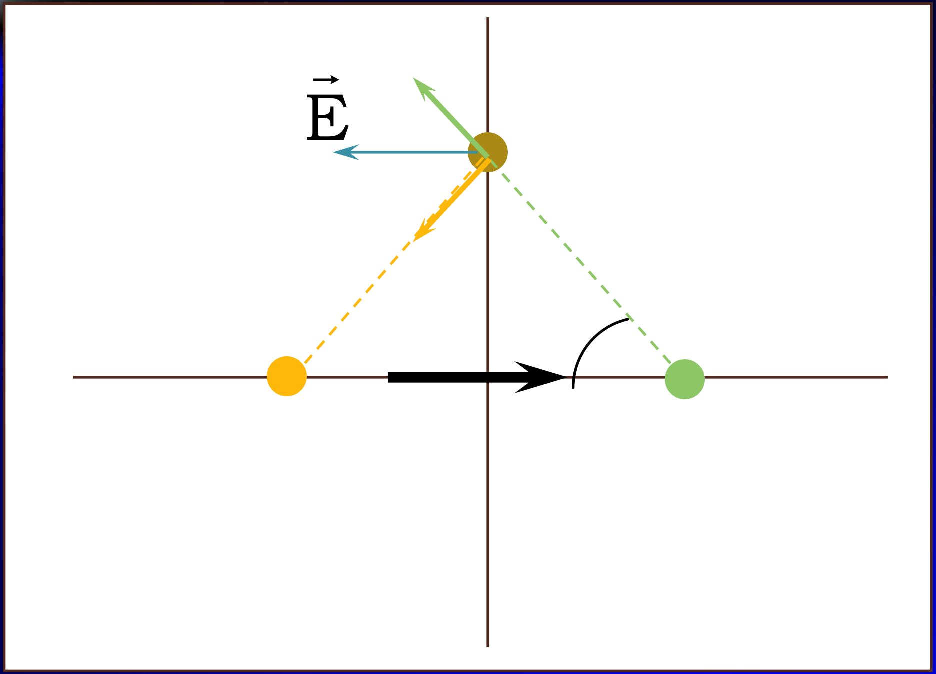
El campo total sera

$$\vec{E}_{+x} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{a^2 + y^2}\frac{a}{\sqrt{a^2 + y^2}}\left(-\hat{i}\right)$$

$$\vec{E}_{+x} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qa}{\left(a^2 + y^2\right)^{3/2}}\hat{i}$$

$$\boxed{\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{-2qa}{\left(a^2 + y^2\right)^{3/2}}\hat{i}}$$

Continua dipolo



Como el momento dipolar es p =2qa, se tiene

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{-\vec{p}}{\left(a^2 + y^2\right)^{3/2}}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{-2qa}{\left(a^2 + y^2\right)^{3/2}} \hat{i}$$

Cuando a <<<y, se tiene

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{-\vec{p}}{y^3}$$

CAMPO ELECTRICO DE UN DIPOLO

- La componente *x* del campo será

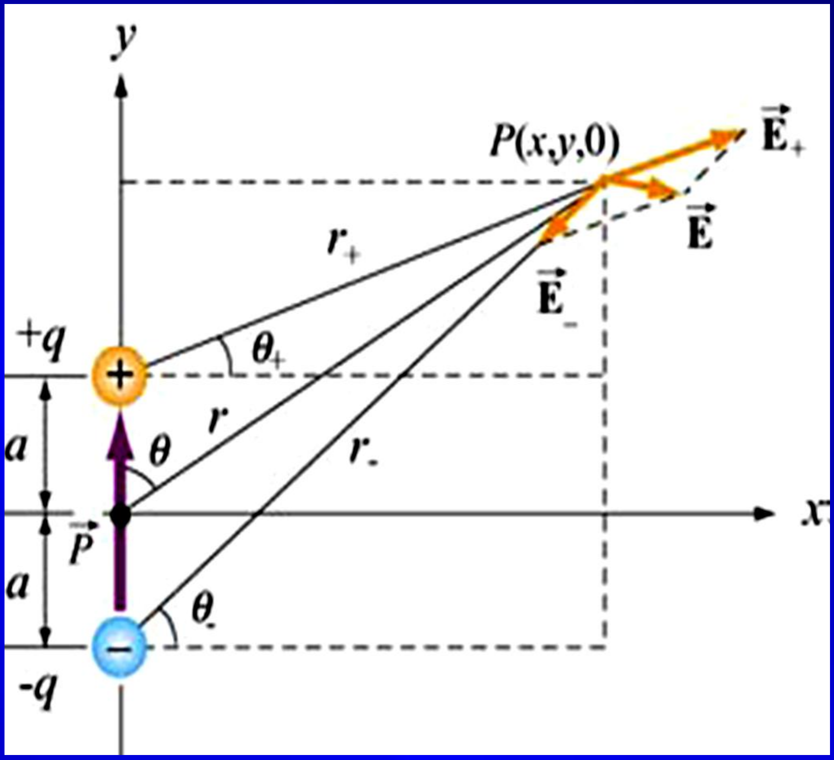
$$E_x = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{\cos\theta_+}{r_+^2} - \frac{\cos\theta_-}{r_-^2}\right) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{x}{\left(x^2+\left(y-a\right)^2\right)^{3/2}} - \frac{x}{\left(x^2+\left(y+a\right)^2\right)^{3/2}}\right)$$

- Se ha hecho uso de

$$r_\pm = r^2 + a^2 \mp 2ra\cos\theta = x^2 + \left(y \mp a\right)^2$$

- Finalmente tenemos

$$E_x = \frac{3p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\sin\theta\cos\theta$$



CAMPO ELECTRICO DE UN DIPOLO

- La componente *x* del campo será

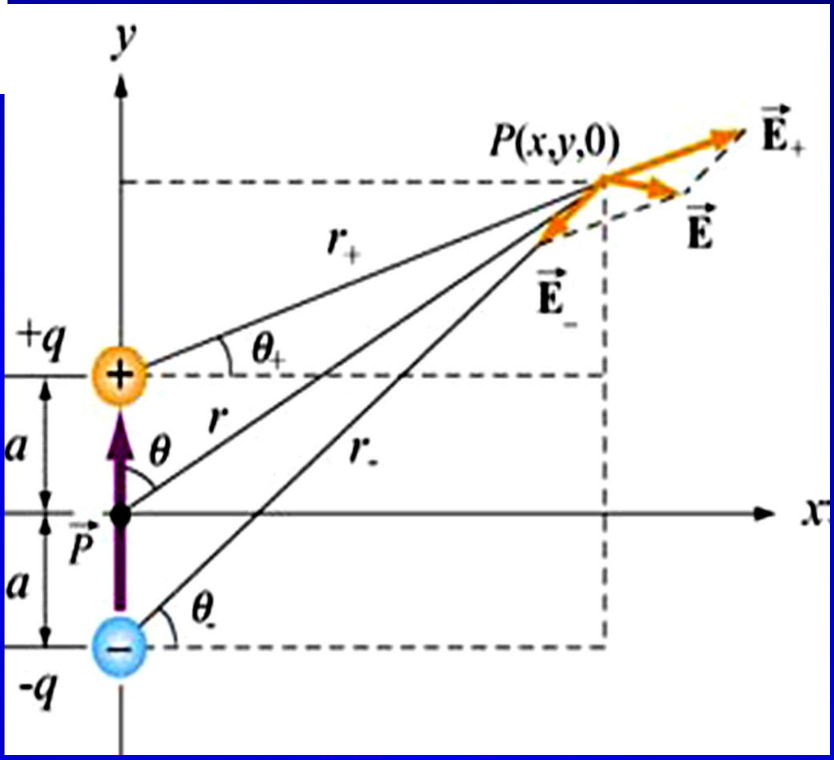
$$E_y = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{\sin\theta_+}{r_+^{\,2}} - \frac{\sin\theta_-}{r_-^{\,2}}\right) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{y-a}{\left[x^2+(y-a)^2\right]^{3/2}} - \frac{y+a}{\left[x^2+(y+a)^2\right]^{3/2}}\right)$$

- Se ha hecho uso de

$$r_\pm^{\,2} = r^2 + a^2 \mp 2ra\cos\theta = x^2 + (y\mp a)^2$$

- Finalmente tenemos

$$E_y = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left(3\cos^2\theta - 1\right)$$

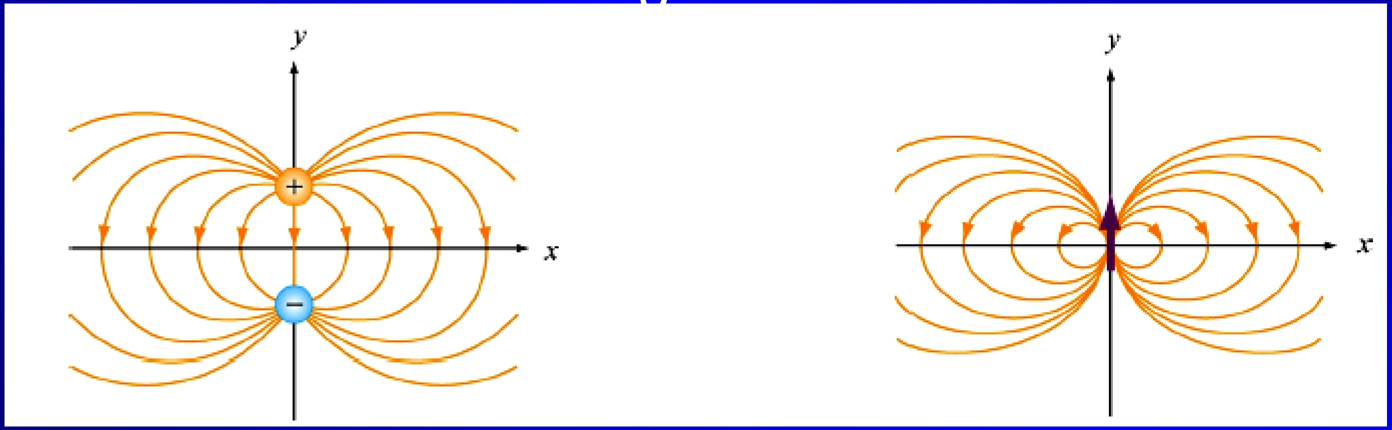


CAMPO ELECTRICO DE UN DIPOLO

- *Donde sen θ =x/r y cos θ = y/r.*
- Haciendo $$3pr\cos\theta = 3\vec{\mathbf{p}}\cdot\vec{\mathbf{r}}$$
- El campo del dipolo se escribe

$$\vec{\mathbf{E}}(\vec{\mathbf{r}}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(-\frac{\vec{\mathbf{p}}}{r^3} + \frac{3(\vec{\mathbf{p}}\cdot\vec{\mathbf{r}})\vec{\mathbf{r}}}{r^5}\right)$$

- Las líneas de campo de un dipolo finito y debido a un dipolo puntual se muestran en la figura



Momento (torque) sobre un dipolo eléctrico

- Cuando se coloca un dipolo en un campo externo , el momento se escribe

$$\vec{p} = 2qa\left(\cos\theta\vec{i} + sen\theta\vec{j}\right)$$

- La fuerza neta sobre el dipolo es nula

$$\vec{F}_{neta} = \vec{F}_{+} + \vec{F}_{-} = 0$$

- El campo ejerce un torque dado por

$$\vec{M} = \vec{r}_{+} x\vec{F}_{+} + \vec{r}_{-} x\vec{F}_{-}$$

$$\vec{M} = \left(a\cos\theta\vec{i} + asen\theta\vec{j}\right) x\left(F_{+}\vec{i}\right) + \left(-a\cos\theta\vec{i} - asen\theta\vec{j}\right) x\left(-F_{-}\vec{i}\right)$$

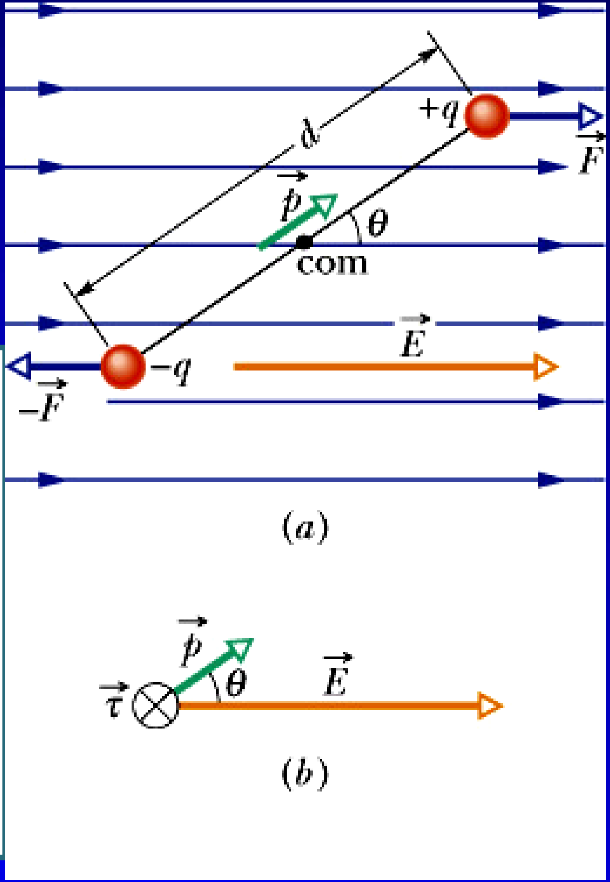
$$\vec{M} = -aF_{+}sen\theta\vec{k} - aF_{-}sen\theta\vec{k}$$

$$\vec{M} = -2aFsen\theta\vec{k}$$

- La magnitud del torque es

$$M = 2aFsen\theta = 2a\left(qE\right)sen\theta$$

$$M = pEsen\theta$$



Energía potencial de un dipolo eléctrico.

- El trabajo hecho por el campo eléctrico para rotar el dipolo en un ángulo dθ, es
- $$dW = -Md\theta = -pEsen\theta d\theta$$

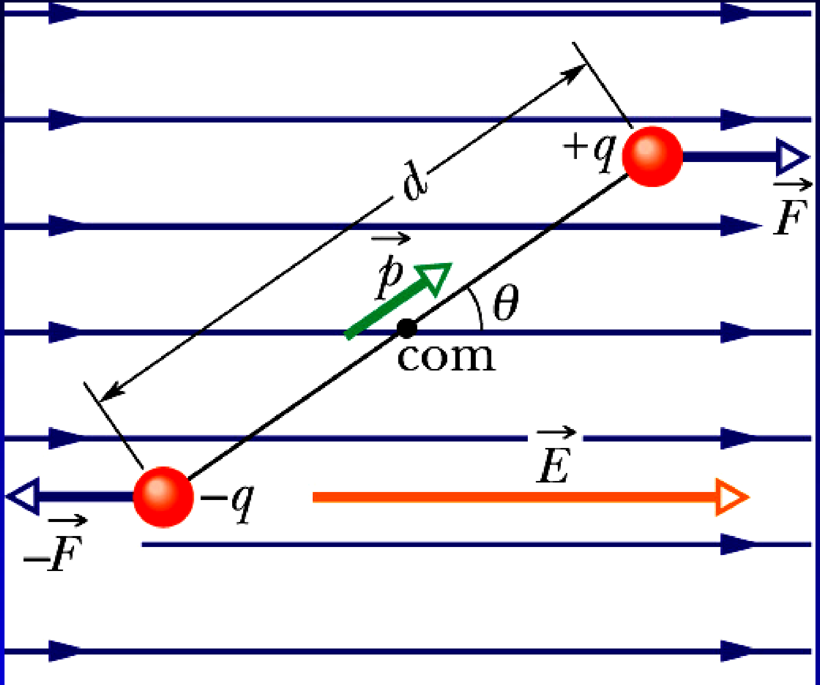
El trabajo neto será

$$U_f - U_i = \int_{\theta_i}^{\theta_f} \tau d\theta = \int_{\theta_i}^{\theta_f} pE\sin\theta d\theta = pE\int_{\theta_i}^{\theta_f} \sin\theta d\theta$$

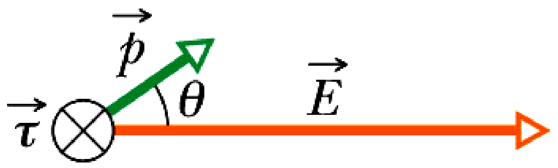
$$= pE[-\cos\theta]_{\theta_i}^{\theta_f} = pE(\cos\theta_i - \cos\theta_f)$$

$$\Delta U = U - U_0 = -pE\left(\cos\theta - \cos\theta_0\right)$$

$$U = -pE\cos\theta = -\vec{p}.\vec{E}$$



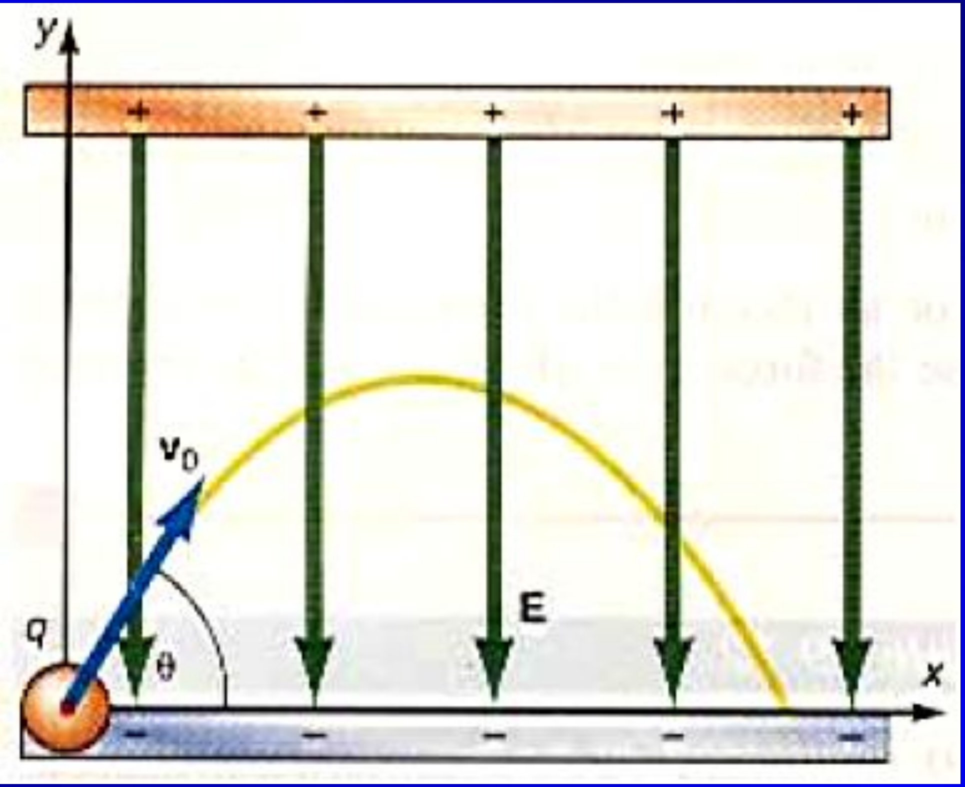
(a)



(b)

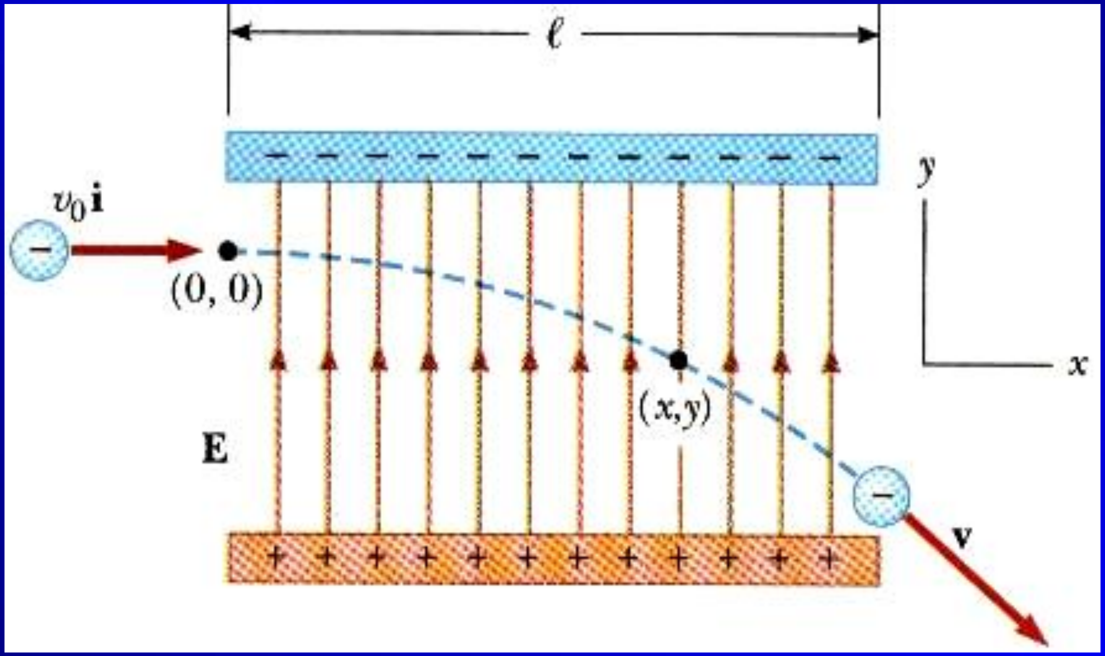
EJEMPLO 18

- Un protón es lanzado con una velocidad inicial de 150 m/s bajo un ángulo de 60° sobre la horizontal dentro de un campo eléctrico uniforme E = 0,0002 N/C entre dos placas paralelas, como se muestra en la figura. Encontrar: (a) el tiempo total que la partícula está en movimiento y (b) su máximo alcance y (c su máxima altura



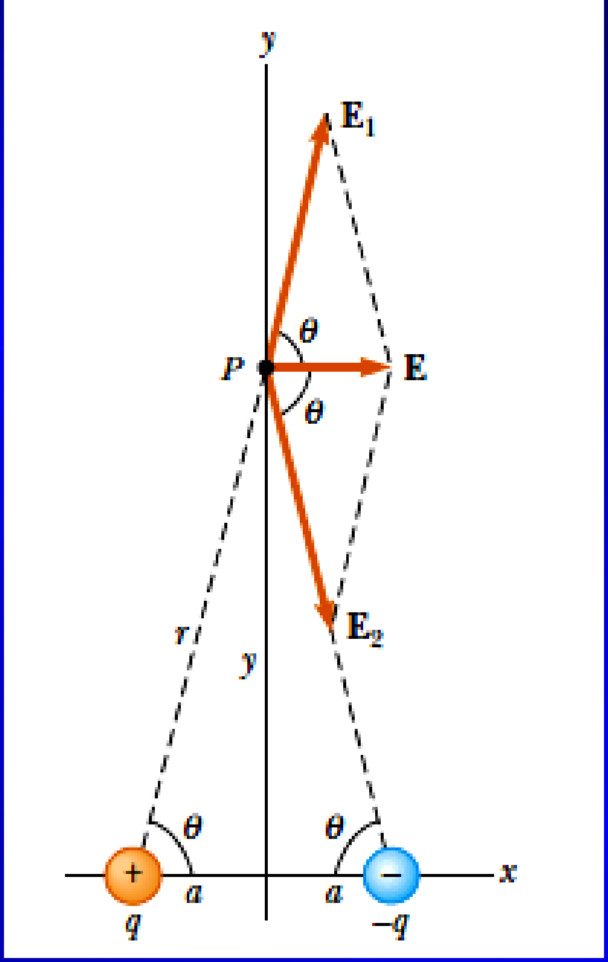
EJEMPLO 17

Un electrón entra en la región de un campo eléctrico uniforme como se muestra, con v_0 =3.00 10^6 m/s y E = 200N/C. La dimension de la placa es *l*= 10 cm. (a) Encuentre la aceleración del electron mientras está en el campo. (b) El tiempo que demora el electrón en atravezar el campo. (c) el desplazamiento verical del electrón mientras permanece en el campo. (d) encuentre la velocidad del electrón cuando emerge del campo.



Ejemplo

- Encuentre el campo eléctrico en el punto P debido al dipolo



Ejemplo

An electric dipole consists of two charges $q_1 = +2e$ and $q_2 = -2e$ ($e = 1.6\times10^{-19}$ C), separated by a distance $d = 10^{-9}$ m. The electric charges are placed along the y-axis as shown in Figure 2.15.10.

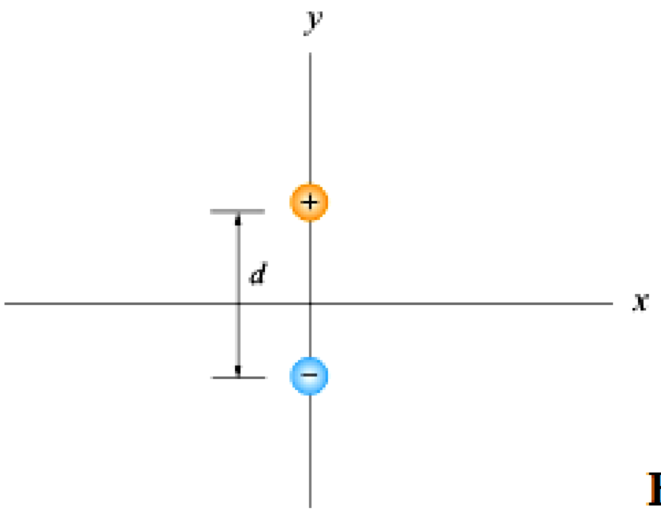


Figure 2.15.10

Ejemplo

quadrupole. It consists of two dipoles with dipole moments that are equal in magnitude but opposite in direction. Show that the value of E on the axis of the quadrupole for a point P a distance z from its center (assume $z \gg d$) is given by

$$E = \frac{3Q}{4\pi\varepsilon_0 z^4},$$

in which $Q\ (= 2qd^2)$ is known as the *quadrupole moment* of the charge distribution. SSM

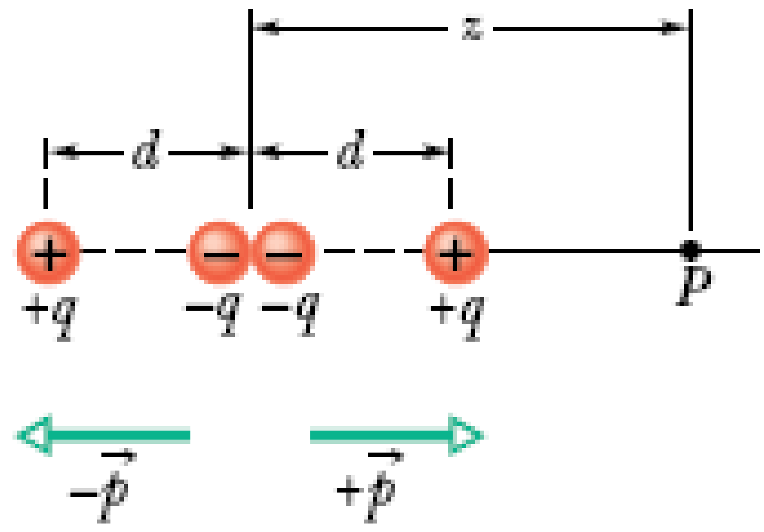
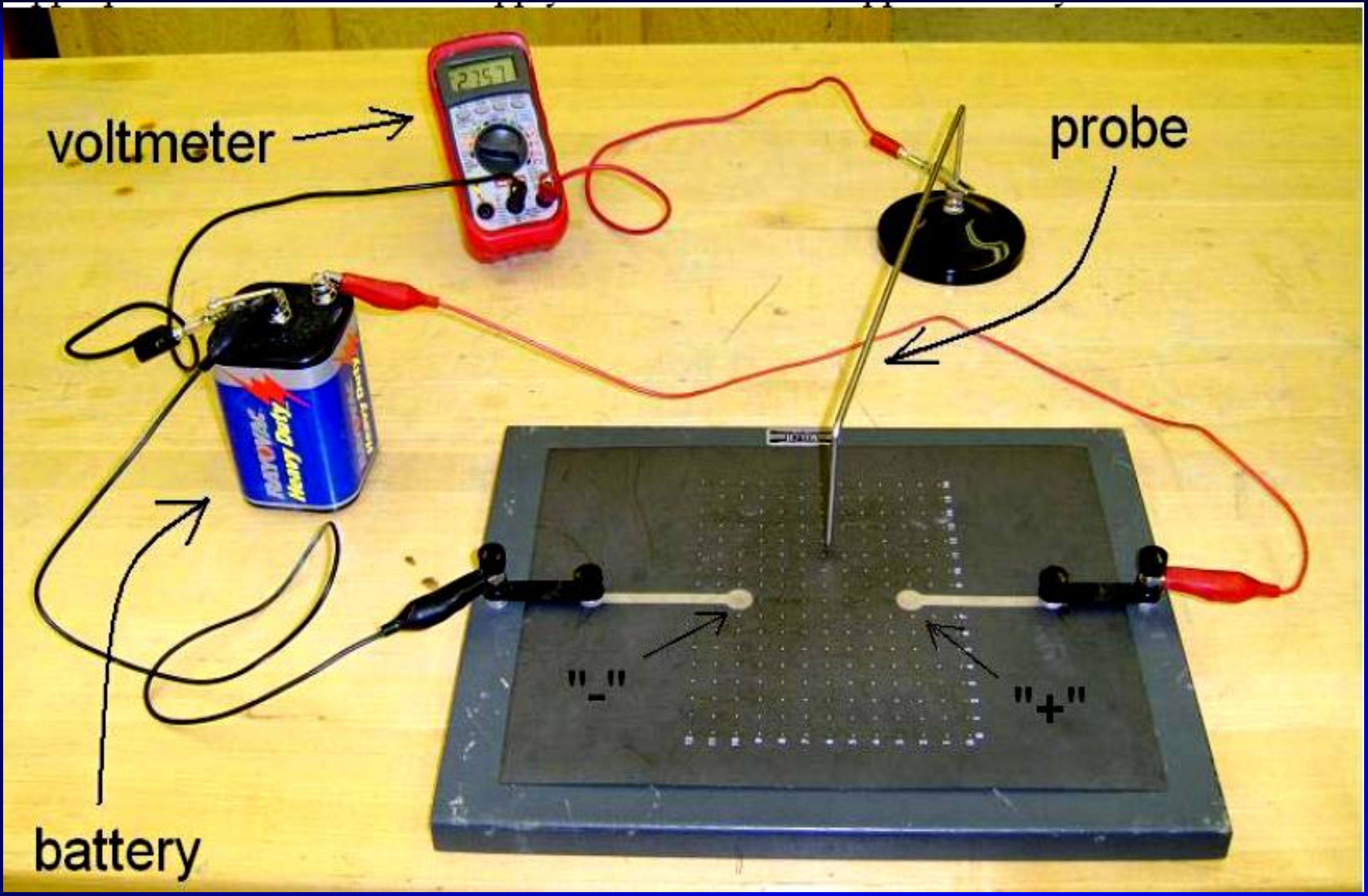


Fig. 22-39 Problem 21.

Laboratorio para determinar E



Laboratorio continuación