

**EL CAMPO ELÉCTRICO Y
LA LEY DE COULOMB
PROFESOR: FLORENCIO PINELA**

CARGA ELÉCTRICA Y FUERZAS

CARGA PUNTUAL:

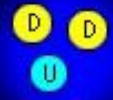
- Hay dos tipos de carga eléctrica, conocidas como positivas y negativas. Partículas de igual denominación se repelen y de denominación diferente se atraen.
- Una carga puntual es un objeto cuyo radio es muy pequeño comparado con la distancia entre esta y otros objetos que la rodean. Partículas pequeñas como protones y electrones son consideradas partículas puntuales.

Constituyentes de la materia

Partícula	Masa (kg)	Carga (C)
electrón	9.1×10^{-31}	-1.6×10^{-19}
protón	1.67×10^{-27}	$+1.6 \times 10^{-19}$
neutrón	1.67×10^{-27}	0



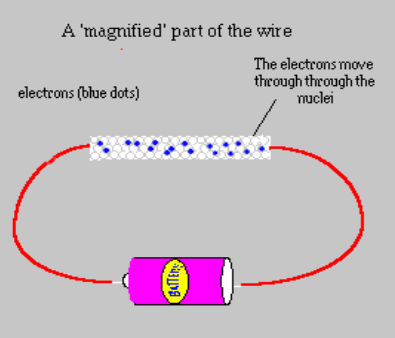
PROTON



NEUTRON

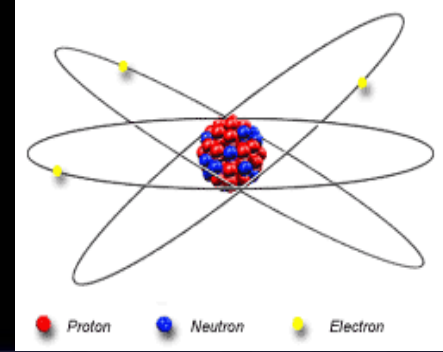
- Un átomo tiene el mismo número de electrones que de protones → es neutro ;
- Ión positivo : le faltan electrones
- Ión negativo: tiene electrones añadidos





CARGA ELÉCTRICA

¿Cuál es la menor carga posible?



- La carga eléctrica es una magnitud fundamental de la física, responsable de la interacción electromagnética.
- En el S.I. La unidad de carga es el **Coulombio (C)** que se define como la cantidad de carga que fluye a través de la sección de un conductor en un segundo cuando la corriente en el mismo es de 1 A.

Submúltiplos del Coulombio

- $1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$
- $1 \text{ }\mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$
- $1 \text{ mC} = 10^{-3} \text{ C}$

$$1 \text{ C} = 6,24 \times 10^{18} \text{ electrones}$$

- La menor carga posible es $1.602 \times 10^{-19} \text{ Coulomb (C)}$

• Esto significa que la carga que adquiera un material será siempre un múltiplo entero de la carga de un electrón

➤ Características de la carga: resumen

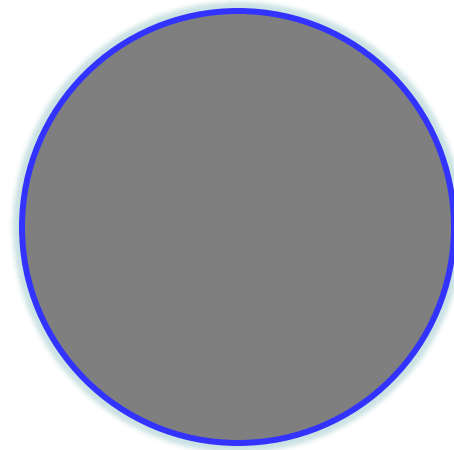
- i) **Dualidad de la carga:** Todas las partículas cargadas pueden clasificarse en positivas y negativas, de forma que las de un mismo signo se repelen mientras que las de signo contrario se atraen.
- ii) **Conservación de la carga:** En cualquier proceso físico, la carga total de un sistema aislado se conserva. Es decir, la suma algebraica de cargas positivas y negativas presente en cierto instante no varía.
- iii) **Cuantización de la carga:** La carga eléctrica siempre se presenta como un múltiplo entero de una carga fundamental, que es la del electrón.

$$Q = \pm N e$$

•PREGUNTA DE CONCEPTO

La esfera de la figura tiene una carga eléctrica de $+ 10^{-10}$ C.
¿Qué es verdad respecto a lo acontecido a la esfera?

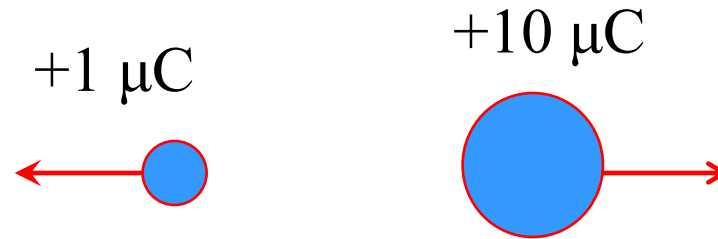
- A) Se transfirieron $6,25 \times 10^8$ protones a la esfera.
- B) Se retiraron $6,25 \times 10^8$ electrones de la esfera.
- C) Se retiraron $1,6 \times 10^9$ electrones de la esfera.
- D) Se retiraron $6,25 \times 10^{19}$ electrones de la esfera.
- E) Ninguna es correcta



PREGUNTA DE PRE-VUELO

Dos partículas con cargas $q = +1 \mu\text{C}$ y $Q = +10 \mu\text{C}$ se colocan una próxima a la otra como se muestra en la figura.

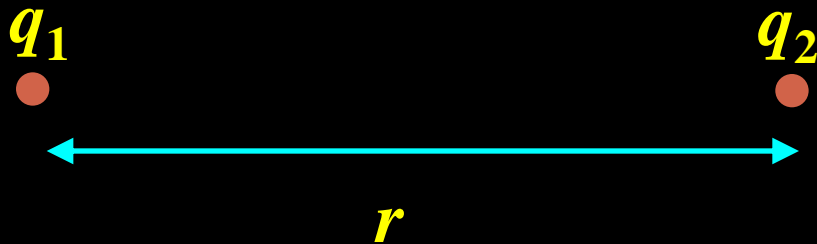
¿Qué pasará con el valor de la fuerza entre ellas, si q se duplica y la distancia entre ellas se *reduce a la mitad*?



- A) Se hace el doble
- B) Se hace 4 veces mayor
- C) Se hace 8 veces mayor
- D) Se mantiene igual
- E) Se reduce a la mitad.

La ley de la Fuerza Eléctrica Charles-Augustin Coulomb (1785)

" La fuerza repulsiva entre dos pequeñas esferas cargadas con el mismo tipo de electricidad está en relación inversa al cuadrado de la distancia entre los centros de las esferas y en proporción directa al producto de las cargas"



$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

k: Constante de Coulomb, cuyo valor depende del sistema de unidades y del medio en el que trabajemos.

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

En el vacío { S.I. \longrightarrow $k = 8.99 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

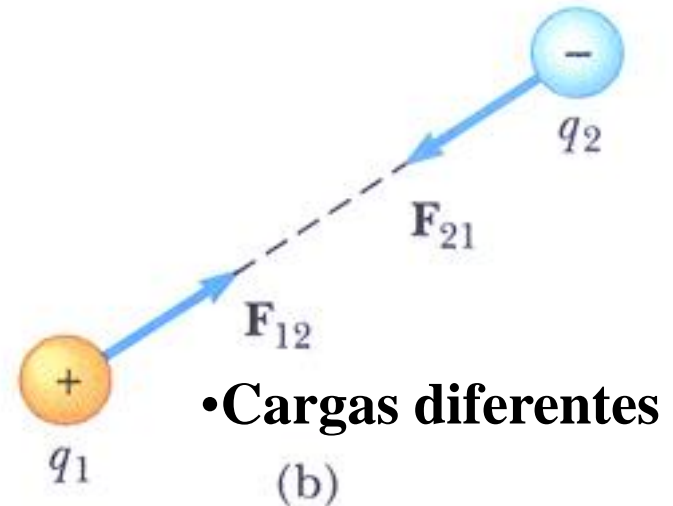
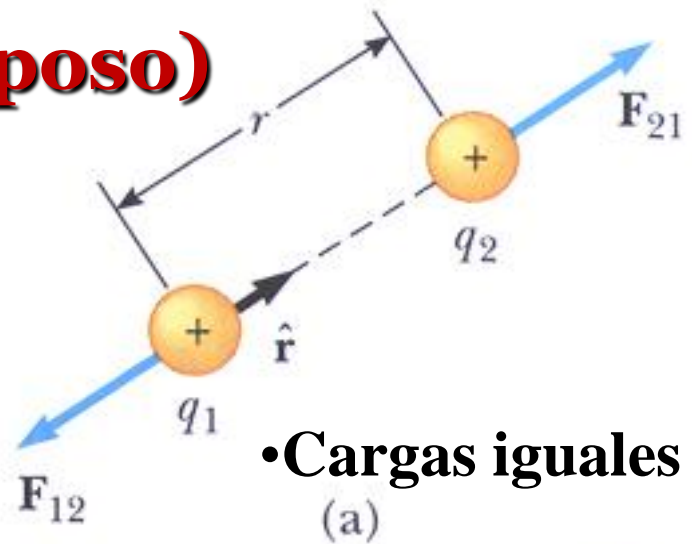
• Llamada la permitividad del espacio libre (vacío)

Ley de Coulomb (cargas puntuales y en reposo)

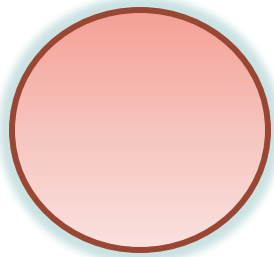
$$\vec{F} = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \hat{r}$$

• LAS FUERZAS
OBEDECEN LA TERCERA
LEY DE NEWTON!

• LAS FUERZAS TIENEN
IGUAL MAGNITUD Y
ACTUAN EN DIRECCIONES
CONTRARIAS!



¿Por qué la Ley de Coulomb es válida sólo para Partículas?



Esfera con carga neta

$$Q=0$$

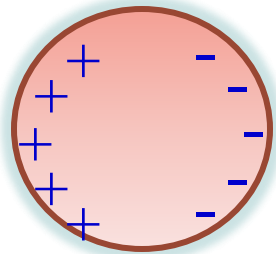


Partícula con
carga q

- Aplicando la ley de Coulomb, ¿cuál es el valor de la fuerza eléctrica entre la esfera y la partícula?

$$F = \frac{kQq}{r^2} = 0$$

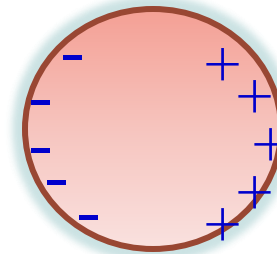
!La fuerza entre partículas es independiente de la presencia de otras cargas!



$$Q=0$$



Partícula con
carga q



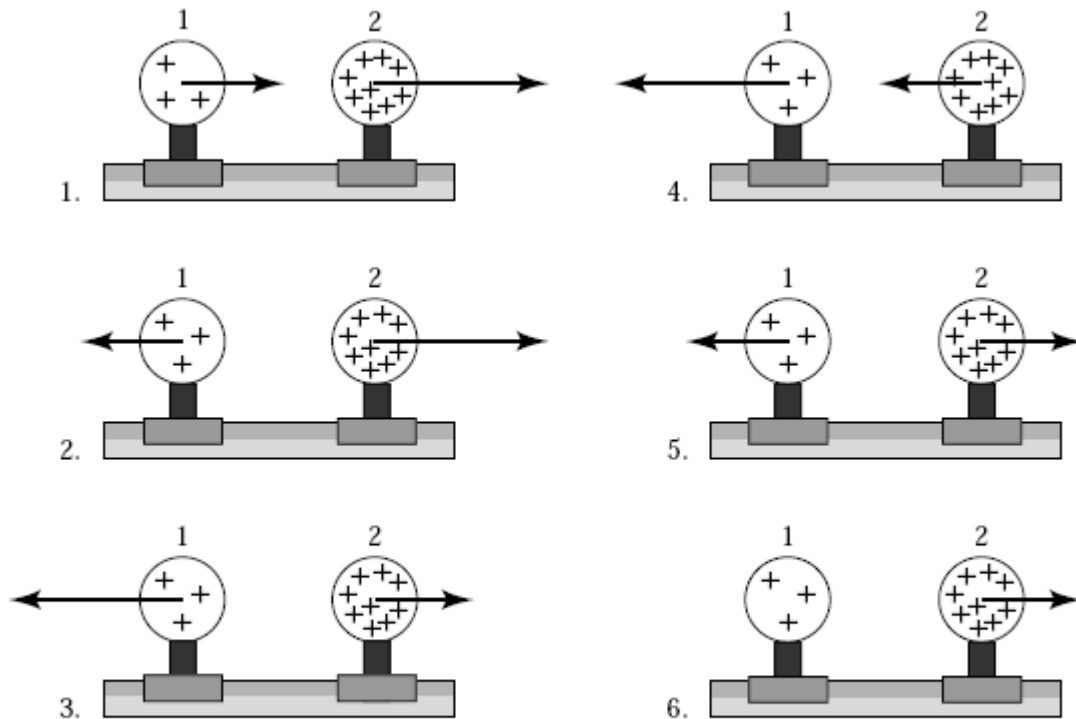
$$Q=0$$

- !Pero la fuerza eléctrica entre las esferas NO es cero!
- La razón es que la ley de Coulomb NO es aplicable ya que las esferas NO puede ser considerada como partícula.

$$F = \frac{kQQ}{r^2} = 0$$

•Pregunta de concepto

Dos esferas pequeñas cargadas uniformemente se encuentran sobre soportes aislantes los que se encuentran sobre una pista sin fricción. La carga sobre la esfera 2 es tres veces la carga sobre la esfera 1. ¿Cuál diagrama de fuerza muestra correctamente la magnitud y dirección de las fuerzas electrostáticas?



7. none of the above

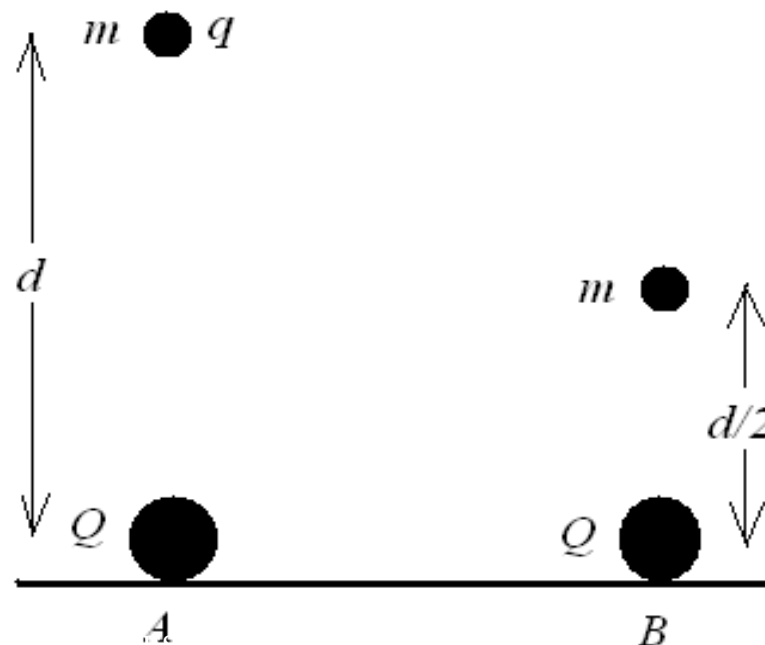
Dos esferas idénticas, (A y B), transportan idénticas carga eléctrica. Si las esferas se encuentran separadas una distancia d se repelen con una fuerza de magnitud F . Una tercera esfera, idéntica a las otras dos pero inicialmente descargada se la hace tocar a la primera esfera y luego tocar a la segunda esfera, y finalmente se la retira. ¿Cuál es la magnitud de la fuerza eléctrica entre las dos esferas (A y B)?

- a) $3F/4$
- b) $5F/8$
- c) $F/2$
- d) $3F/8$
- e) $F/4$

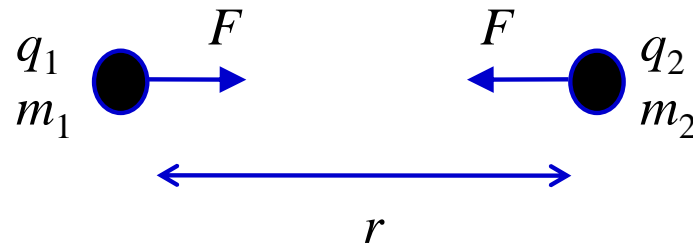
•PREGUNTA DE ACTIVIDAD

Una carga Q se mantiene fija como se indica en la figura, una partícula de carga q y masa m se mantiene en equilibrio sobre la carga Q como se indica en la configuración A. Luego de transcurrido un cierto tiempo se observa que la partícula se encuentra en equilibrio a una distancia igual a la mitad que la posición inicial (B). ¿Qué puede decir respecto a la carga de la partícula de masa m en la configuración B?

- A) Sigue siendo la misma carga q
- B) Se redujo a la mitad
- C) Se redujo a la cuarta parte
- D) Se duplicó
- E) Se hizo cuatro veces mayor



Fuerza Gravitacional vs. Eléctrica



$$F_{elec} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

→

$$\frac{F_{elec}}{F_{grav}} = \frac{q_1 q_2}{m_1 m_2} \frac{1}{G}$$

$$F_{grav} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Para un electrón:

→

$$* |q| = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

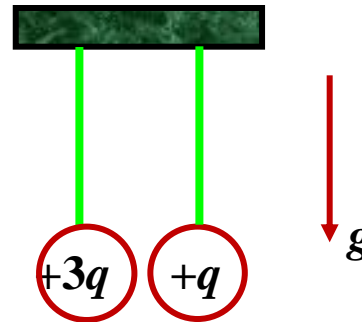
$$m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\frac{F_{elec}}{F_{grav}} = 4.17 \times 10^{+42}$$

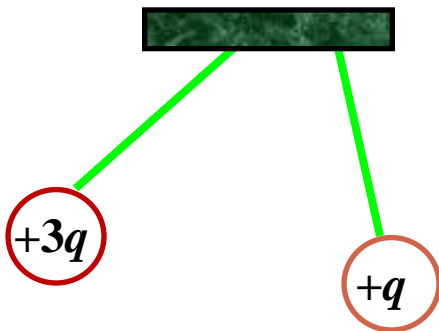
*** La carga más pequeña “vista” en la naturaleza!**

•PREGUNTA DE ACTIVIDAD

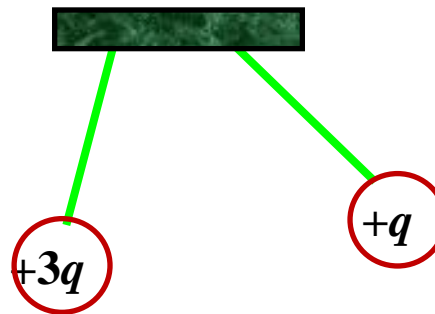
Dos esferas de igual masa se suspenden del tumbado con alambres no-conductores. Una esfera tiene carga $+3q$ y la otra Tiene una carga de $+q$.



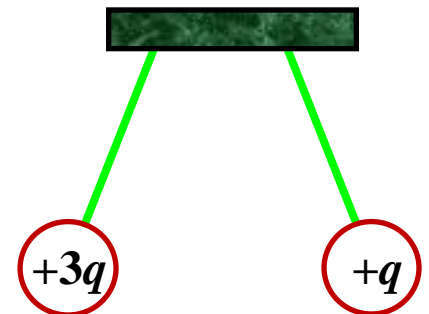
¿Cuál de las siguientes representa mejor la posición de equilibrio?



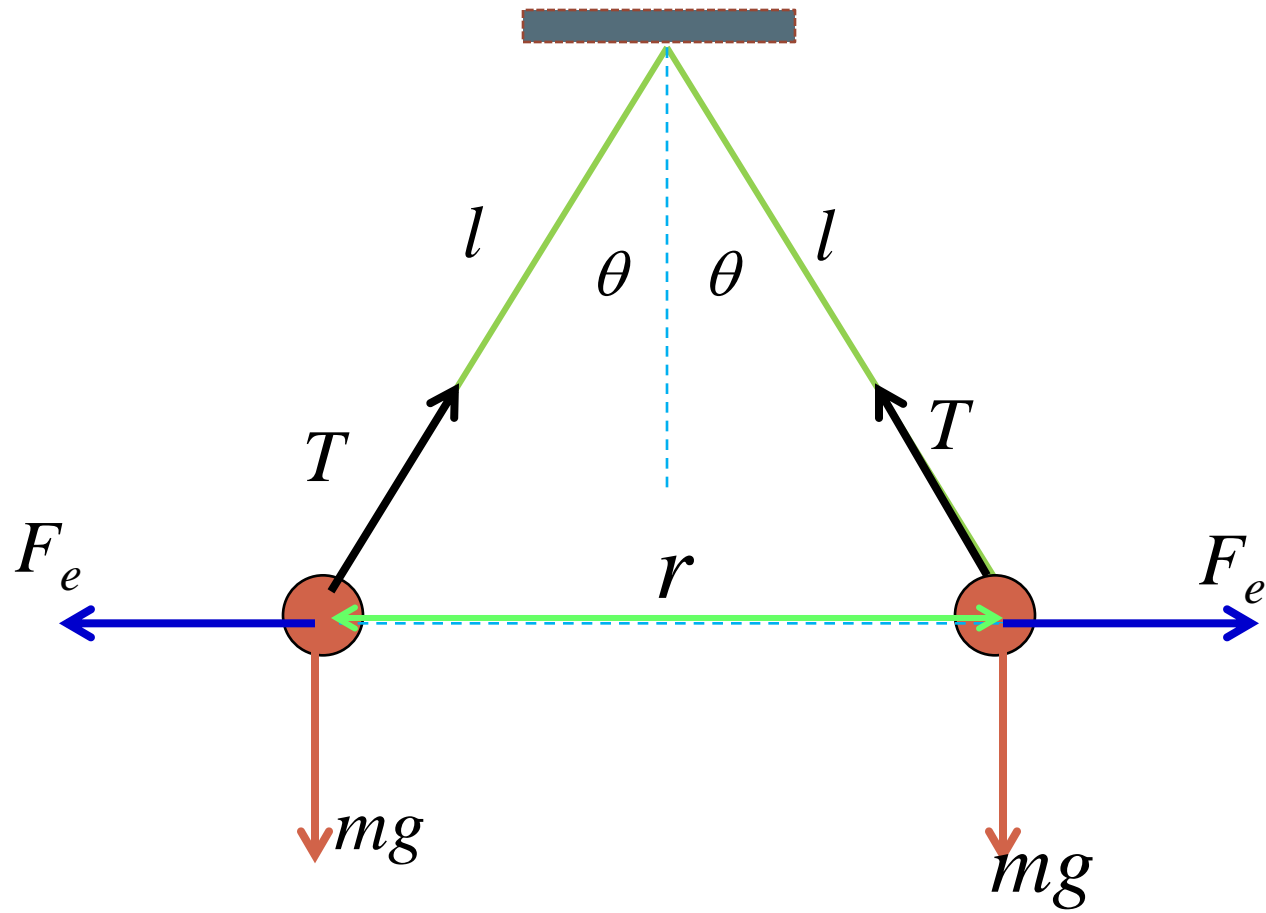
(a)



(b)



(c)



Campos

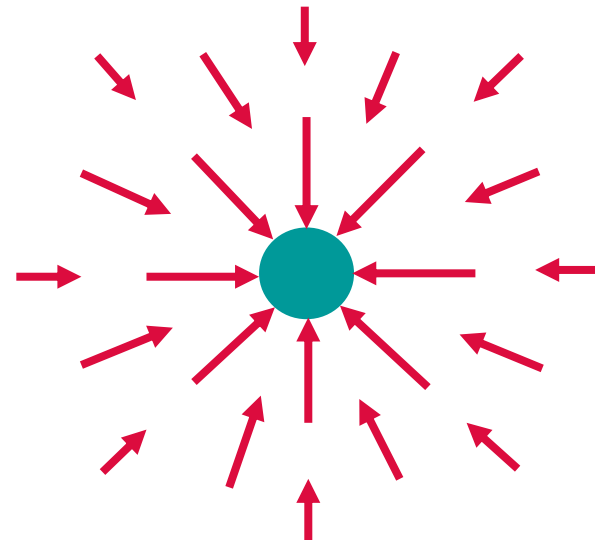
□ Campos Escalares:

- Temperatura – $T(\mathbf{r})$
- Presión – $P(\mathbf{r})$
- Energía Potencial – $U(\mathbf{r})$



□ Campos Vectoriales:

- Campo de Velocidad – $\vec{v}(\vec{r})$
- Campo Gravitacional – $\vec{g}(\vec{r})$
- Campo Eléctrico – $\vec{E}(\vec{r})$
- Campo Magnético – $\vec{B}(\vec{r})$

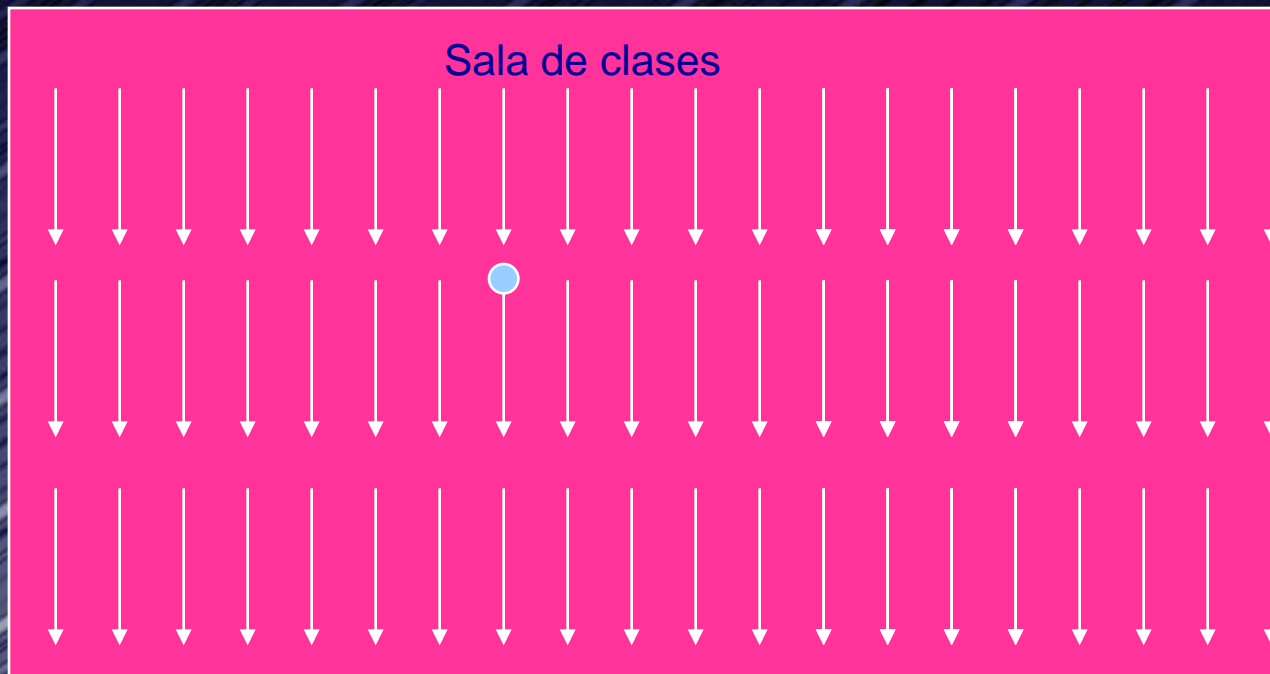


¿Por qué se usa el Campo Eléctrico?

- Porque es útil simplificar el problema separándolo en partes. **Calculamos el campo y luego la fuerza.**
- Porque nos permite pensar en una situación mas general donde la segunda carga no se especifica. **Solo se involucra la carga que genera el campo.**
- Porque la fuerza eléctrica en realidad no se transmite instantáneamente. **Nos permite analizar los casos en que las cargas están en movimiento.** (limitación de la ley de Coulomb)

El Concepto de Campo

- Suponga que el salón de clase está evacuado (vacío) y usted sostiene un protón y lo suelta. ¿Qué hace el protón?



El Concepto de Campo

PREGUNTA

¿Quién piensa usted que es la responsable del cambio en la velocidad del protón?

El Concepto de Campo

Suponga que usted ahora suelta un protón en el mismo lugar, ahora usted observa que el protón se mueve hacia la derecha incrementando su rapidez a $1 \times 10^{11} \text{ m/s}^2$

PREGUNTA

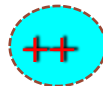
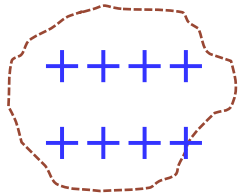
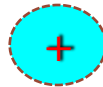
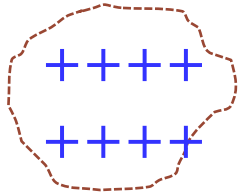
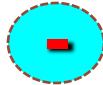
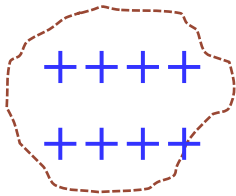
¿Quién piensa usted que es la responsable del “tremendo” cambio en la velocidad del protón?

PREGUNTA

¿Qué objetos cargados pueden ser responsables por esta interacción, y dónde pueden estar?

PREGUNTA

¿Puede usted predecir qué observará si usted suelta en esa posición: un electrón, un protón y una partícula alfa?



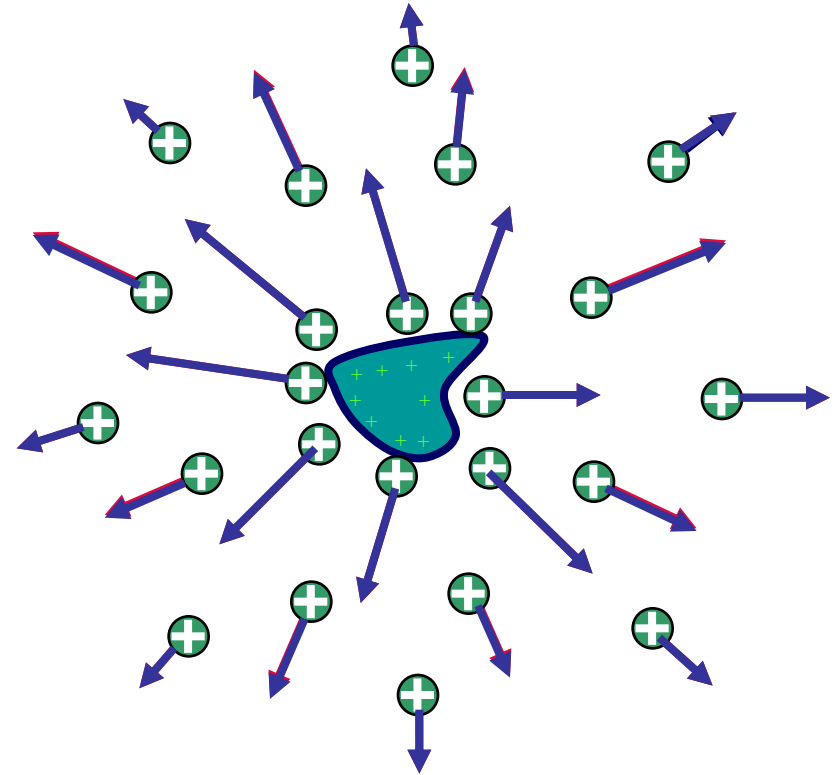
Definición del Campo Eléctrico: E

- Se dice que un campo eléctrico existe en la región del espacio alrededor de un objeto cargado: la **fuerza del CAMPO E**.
- Concepto de **carga de prueba**:
 - Pequeña y positiva
 - No afecta la distribución de carga
- Campo Eléctrico:

➤ *F* - fuerza eléctrica que experimenta la carga q_0

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

- La existencia de un campo eléctrico es una propiedad de su fuente;
- La presencia de una carga de prueba no es necesaria para la existencia del campo;



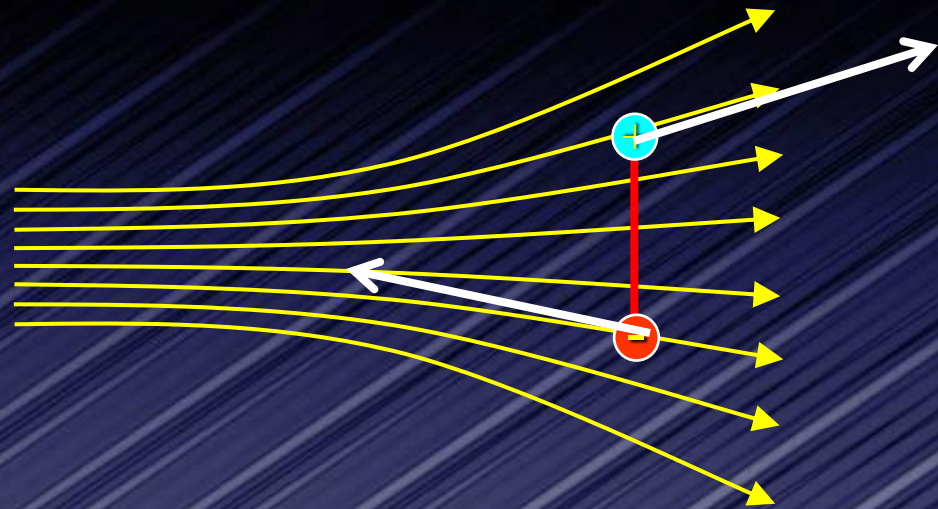
➤ **En el sistema Internacional, la unidad del campo es N/C**

¿Si conocemos E, cuánto vale F?

Es sencillo,

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

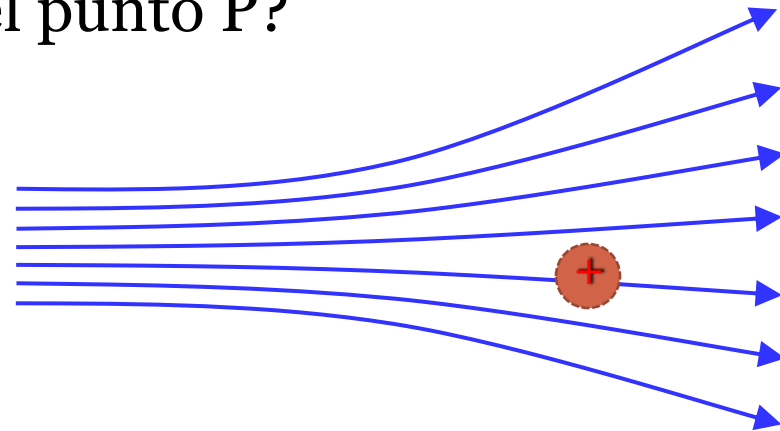
Esta es una ecuación vectorial;



Pregunta de Concepto: Campo Eléctrico



Una carga de prueba de $+3 \mu\text{C}$ se encuentra en el punto P donde existe un campo eléctrico apuntando a la derecha y tiene una magnitud de $4 \times 10^6 \text{ N/C}$. Si la carga de prueba es remplazada con otra carga de prueba de $-3 \mu\text{C}$, ¿qué pasa con el campo eléctrico en el punto P?



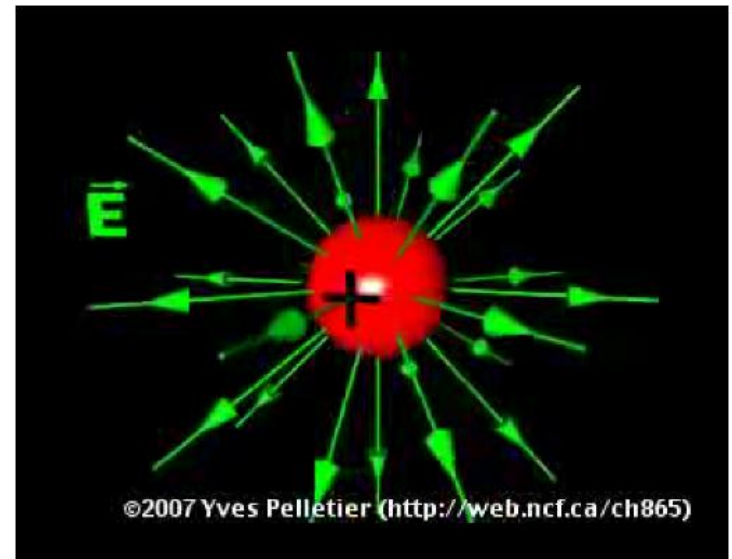
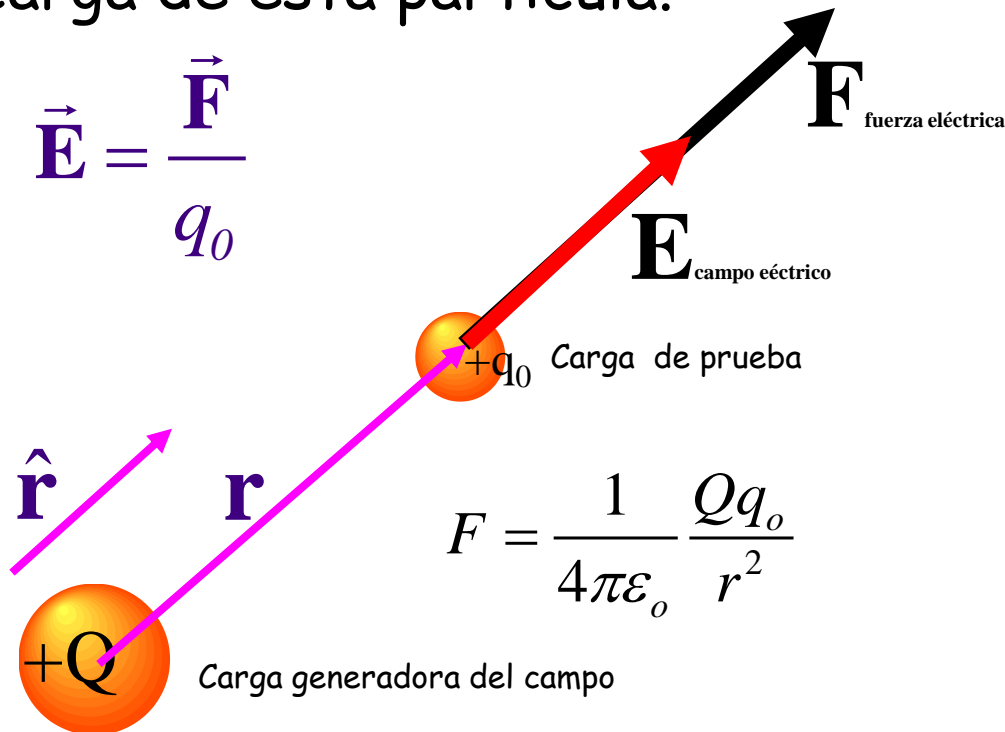
- A. No se ve afectado.
- B. Cambia su dirección.
- C. Cambia de tal forma que no puede ser determinado.

Campo Eléctrico de una Partícula

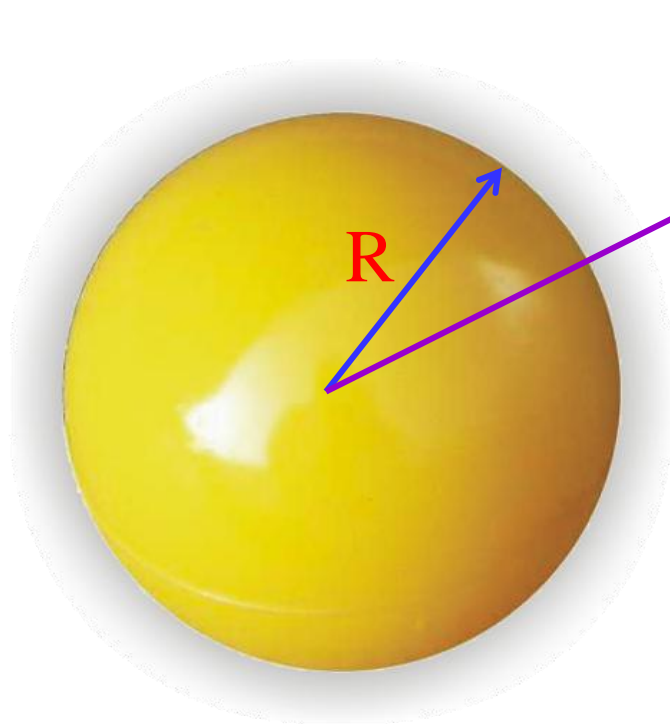
• El campo Eléctrico, E , es definido como la fuerza actuando sobre una partícula de prueba cargada, dividida por la carga de esta partícula.

• El campo eléctrico de una partícula es

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

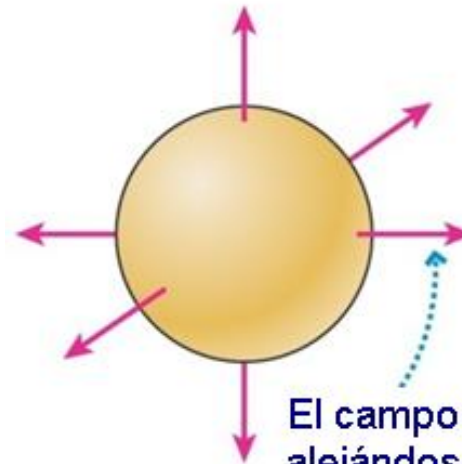


Esta expresión del campo E, es válida también para **puntos fuera** de esferas ($r \geq R$) con carga distribuidas de manera uniforme. Conductoras o dieléctricas



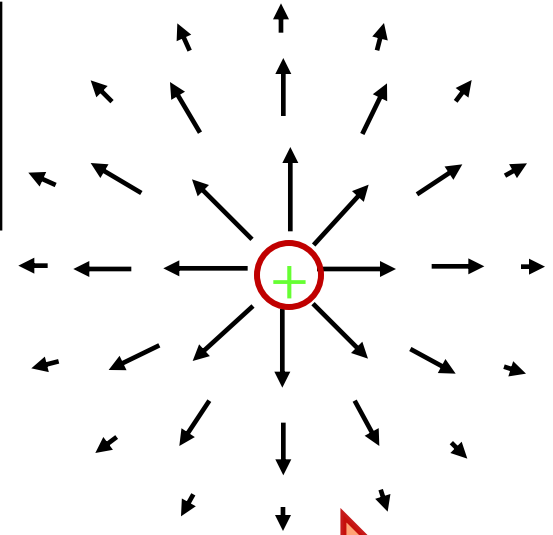
$$\vec{E}_r = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$

Simetría Esférica



El campo es radial alejándose del centro de la esfera

Reglas para los mapas de vectores de Campo Eléctrico



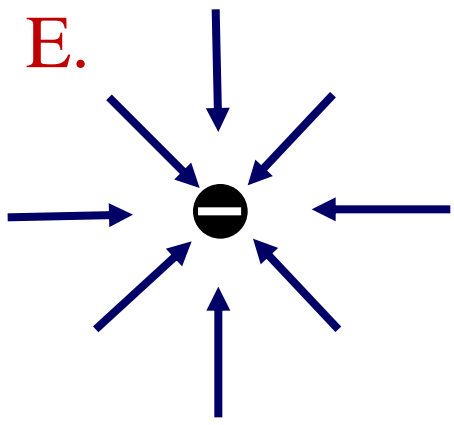
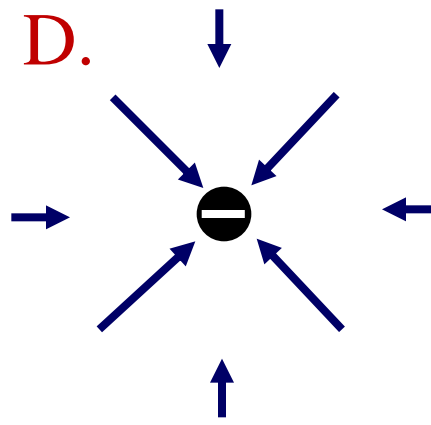
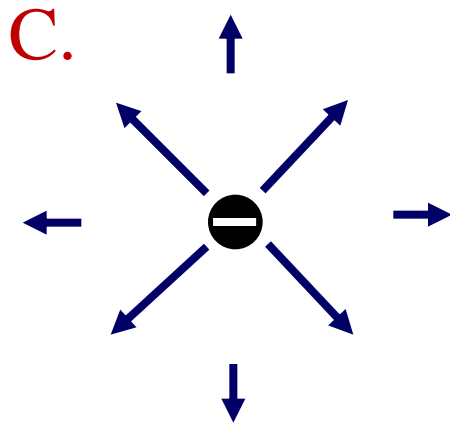
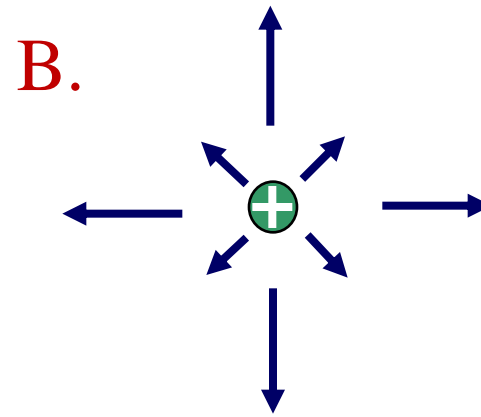
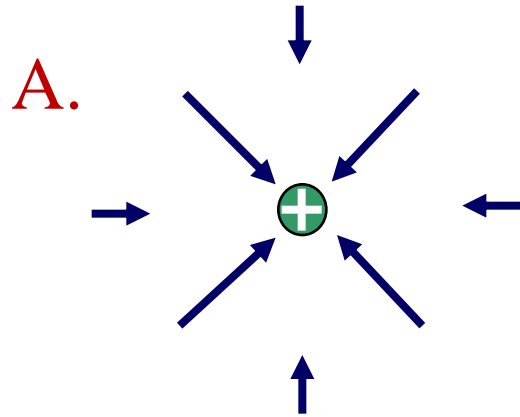
Dirección

- La Dirección de la flecha indica la *dirección* del campo en cada punto en el espacio

Longitud

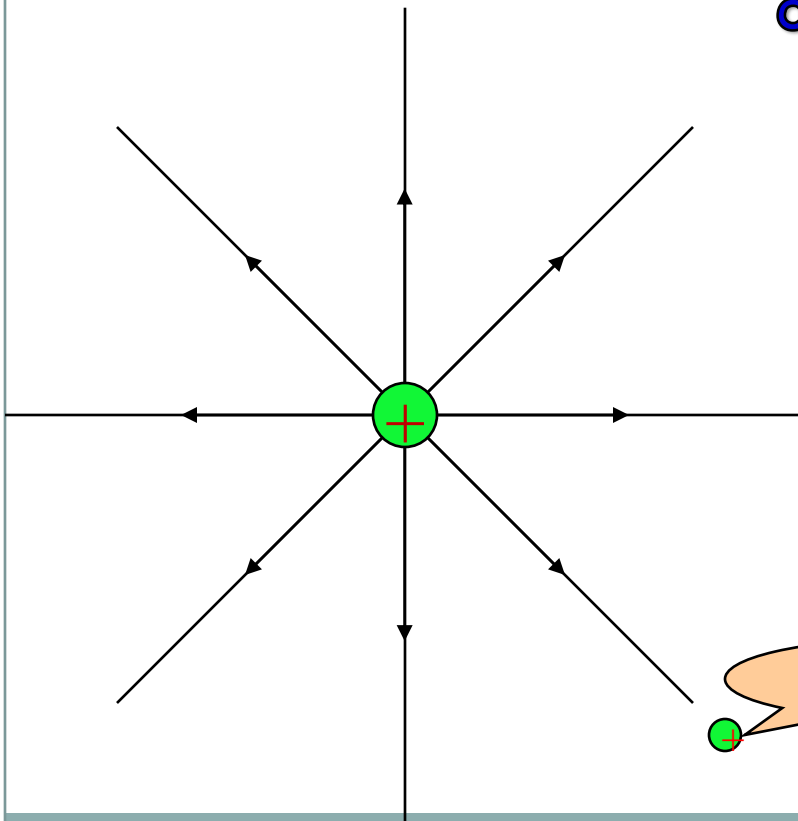
- La Longitud de la flecha es proporcional a la *magnitud* del campo en cada punto del espacio

¿Cuál de los diagramas puede ser considerado correcto para la fuerza eléctrica sobre una carga de prueba positiva, debido a una carga puntual?

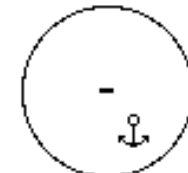
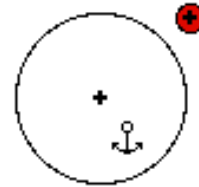


Líneas de Campo Eléctrico

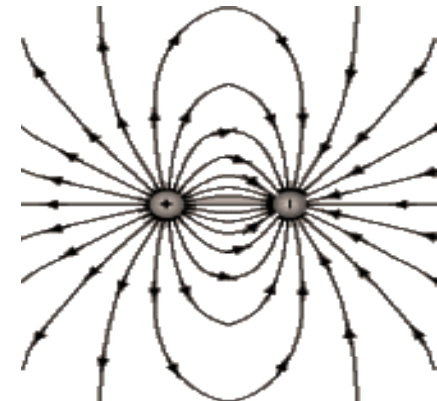
- Podemos pensar que la fuerza eléctrica establece un “campo” que le dice a las partículas en qué camino moverse y con qué rapidez.
- Las “líneas de campo eléctrico” le dicen a una carga positiva en qué dirección moverse.



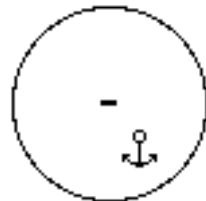
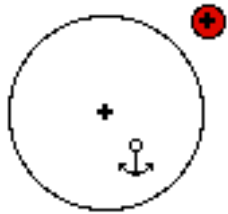
Corre!



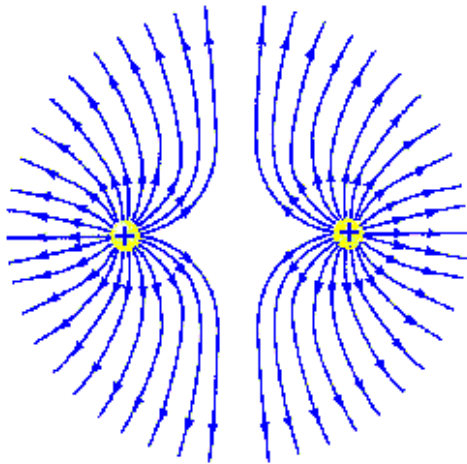
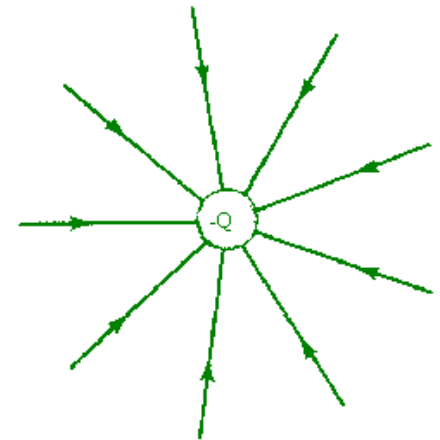
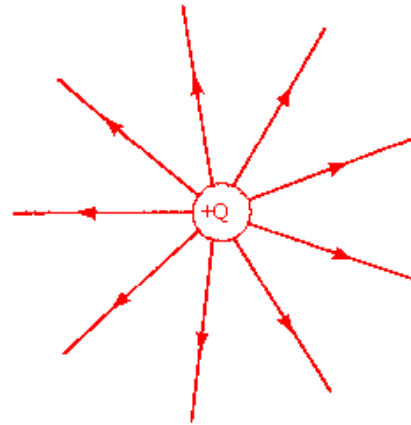
©1998 Science Joy Wagon



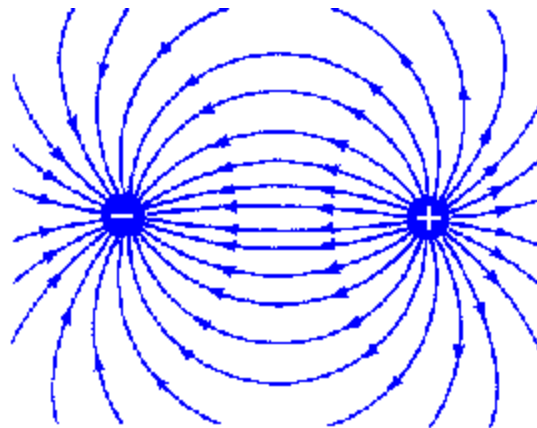
las "líneas de campo eléctrico" le *dicen* a una carga positiva en qué dirección moverse.



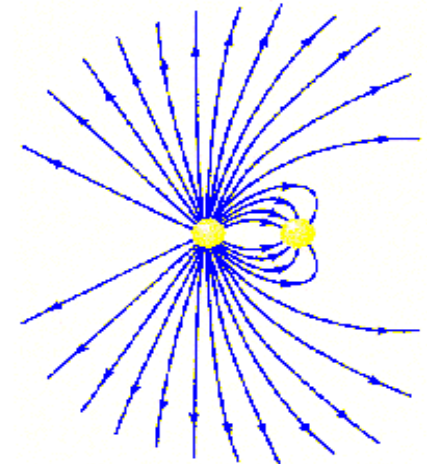
©1998 Science Joy Wagon



Cargas de igual valor y signo



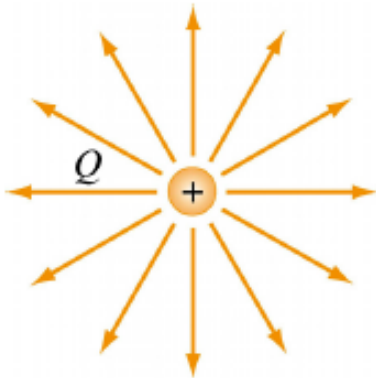
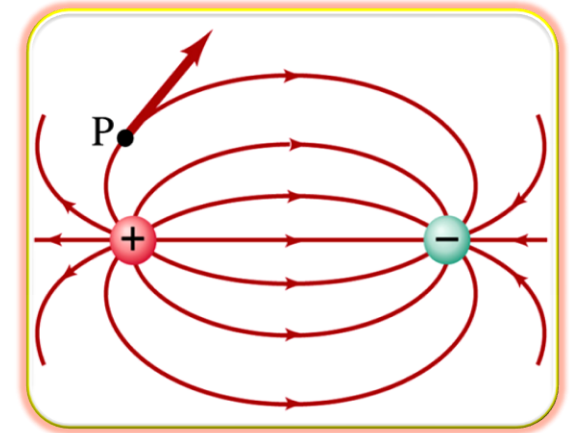
Cargas de igual valor y signo contrario.



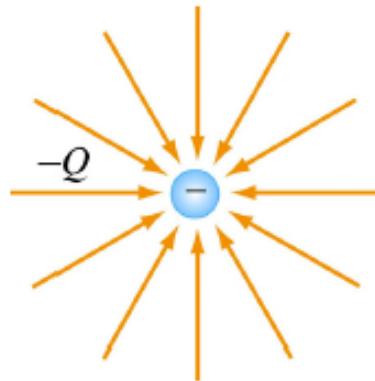
Cargas de distinto valor y signo.

CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO

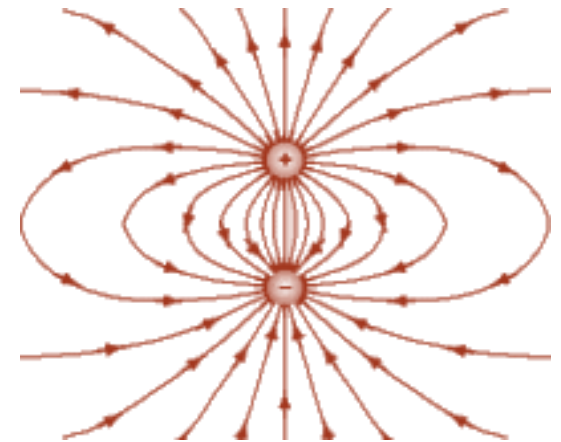
- E es tangencial a la línea.
- Nacen en las cargas positivas (o en infinito) y mueren en las cargas negativas (o en infinito).
- Nunca se cruzan.



(a)

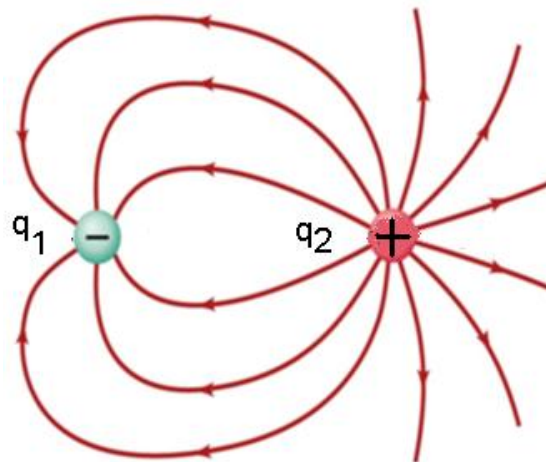


(b)



CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS DE CAMPO ELÉCTRICO

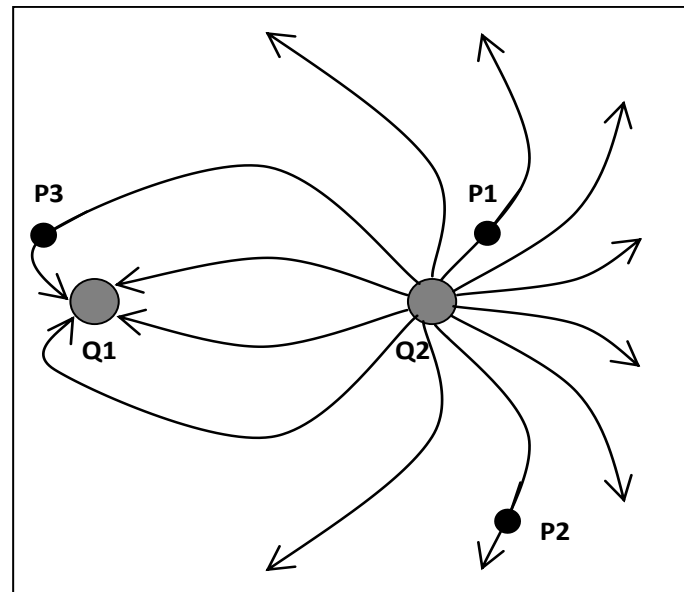
- La magnitud de E es directamente proporcional a la densidad de líneas. (Líneas cercanas implica campo intenso.)
- El número de líneas que nacen o mueren en una carga es proporcional a la magnitud de la carga.



PREGUNTA DE ACTIVIDAD

Dada la siguiente gráfica de líneas de fuerza en la vecindad de las cargas Q_1 y Q_2 . ¿Qué es verdad respecto a ubicar una carga negativa en los puntos P_1 , P_2 , y P_3 ?

- A) La carga experimenta la máxima aceleración al ubicarla en el punto P_3 .
- B) La carga experimenta la misma aceleración (magnitud) en los puntos P_1 y P_3 .
- C) La aceleración de la carga en el punto P_2 apunta radialmente hacia la carga Q_2 .
- D) la carga experimenta la máxima aceleración al ubicarla en el punto P_1 .

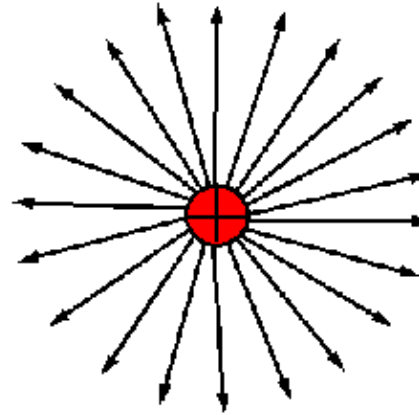


EL CAMPO ELÉCTRICO UNIFORME

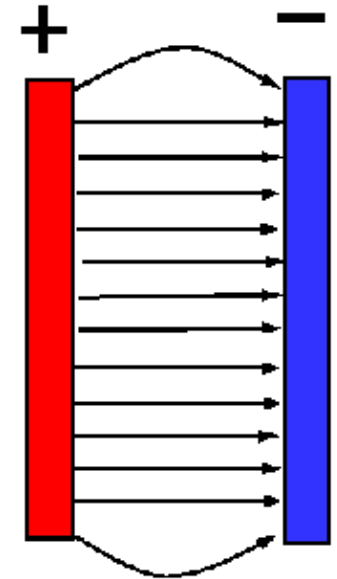
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$



A. Esta expresión es válida únicamente para calcular el campo eléctrico de una partícula



A

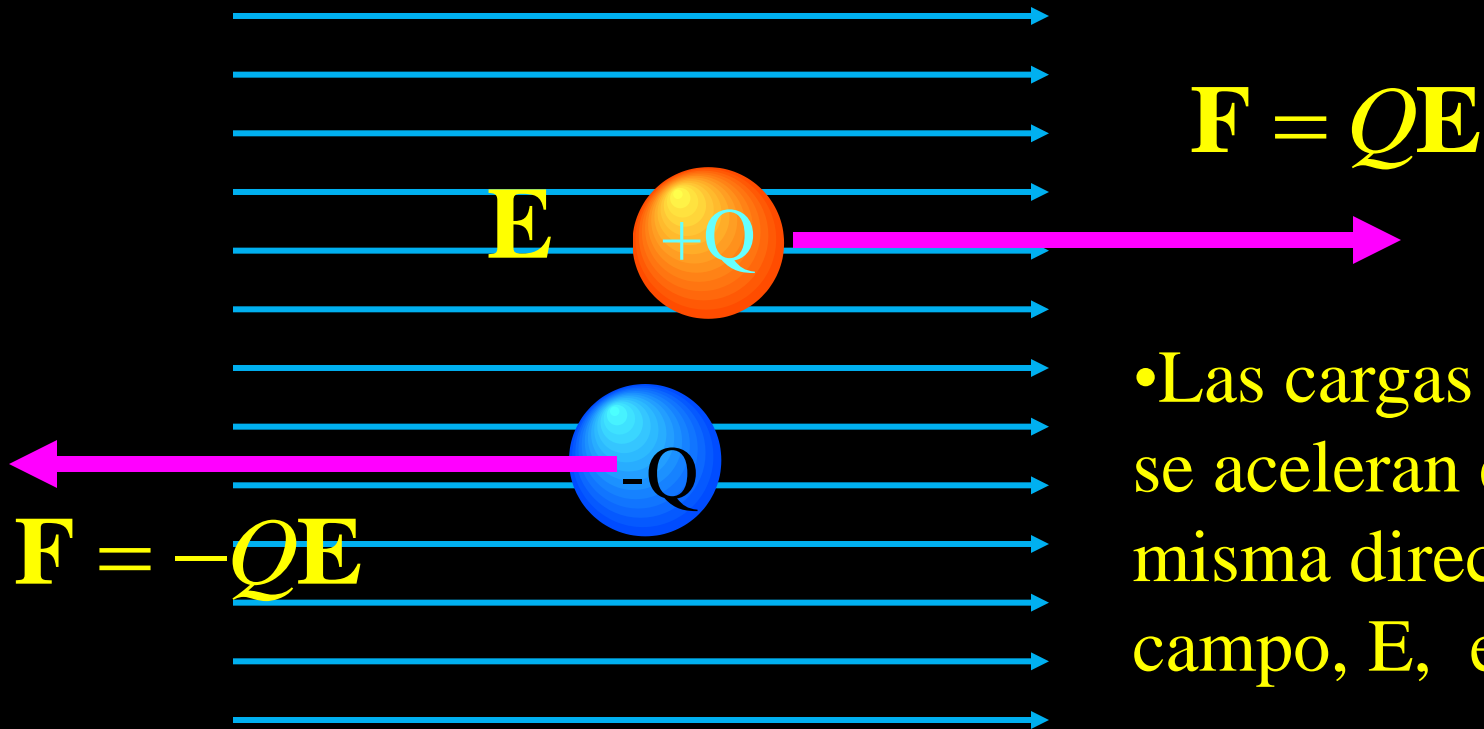


B

B. Placas metálicas paralelas, el campo entre ellas es prácticamente uniforme

Partícula cargada en un campo eléctrico UNIFORME

- Utilizando el campo para determinar la fuerza



- Las cargas positivas se aceleran en la misma dirección del campo, E , externo

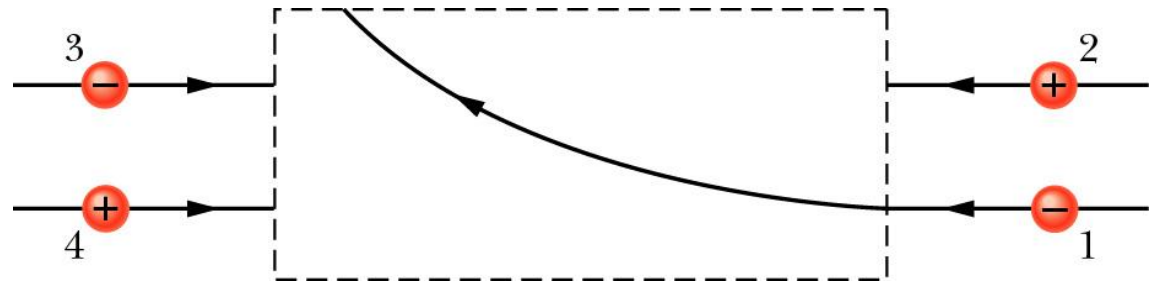
Actividad:



• La figura muestra la trayectoria de una partícula cargada negativamente, 1, a través de una región rectangular de un campo eléctrico uniforme; la partícula es desviada hacia la parte superior de la página.

• ¿Cómo está dirigido el campo eléctrico?

- A. A la izquierda
- B. A la derecha
- C. Hacia arriba
- D. Hacia abajo



• Three other charged particles are shown approaching the region of electric field.

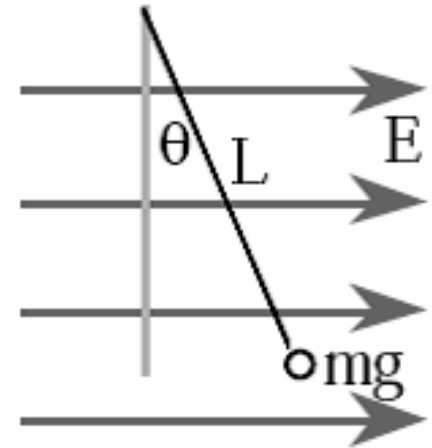
• Which are deflected towards the top and which towards the bottom?

Actividad:

Un objeto pequeño con carga q y peso mg es atado a uno de los extremos de una cuerda de longitud L . El otro extremo es unido a un soporte estacionario. El sistema es colocado en un campo eléctrico uniforme y horizontal E , como se muestra en la figura. En la presencia del campo, la cuerda hace un ángulo constante θ con la vertical. ¿Cuál es la magnitud y signo de la carga q ?

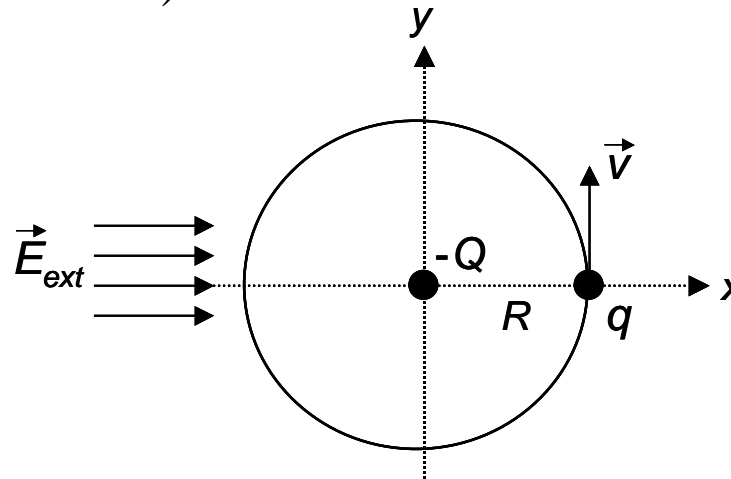


- A. positiva con magnitud $\frac{mg}{E}$
- B. positiva con magnitud $\frac{mg}{E} \tan \theta$
- C. negativa con magnitud $\frac{mg}{E}$
- D. negativa con magnitud $\frac{mg}{E} \tan \theta$
- E. negativa con magnitud $\frac{E}{mg} \tan \theta$



A particle of mass m and charge q moves with velocity v around charge $-Q$, which is fixed at the origin. An external uniform electric field E_{ext} points in the x -direction and can be turned on and off. Initially $E_{ext} = 0$ and the particle moves in uniform circular motion around charge $-Q$. (Neglect all gravitational effects.)

For $E_{ext} = 0$, calculate the magnitude of the velocity of the particle:

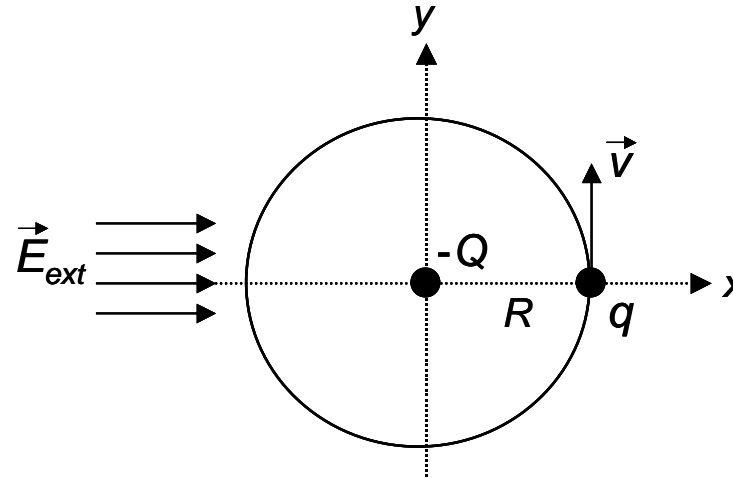


$$\begin{aligned}
 m &= 2 \text{ grams} \\
 q &= 3 \mu\text{C} \\
 Q &= 5 \mu\text{C} \\
 R &= 10 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- $|v| = 36.7 \text{ m/s}$
- $|v| = 26.0 \text{ m/s}$
- $|v| = 82.2 \text{ m/s}$

PREGUNTA DE CONCEPTO

As the particle crosses the positive x-axis as shown, an electric field. $E_{ext} = 6.8 \times 10^6 \text{ N/C}$ is turned on. Which of the following is true?



$m = 2 \text{ grams}$
 $q = 3 \mu\text{C}$
 $Q = 5 \mu\text{C}$
 $R = 10 \text{ cm}$

- A) The particle crosses the y-axis
- B) The particle turns to the right
- C) The particle go straight up in y+ direction

CÁLCULO DE CAMPOS ELÉCTRICOS DE VARIAS PARTÍCULAS



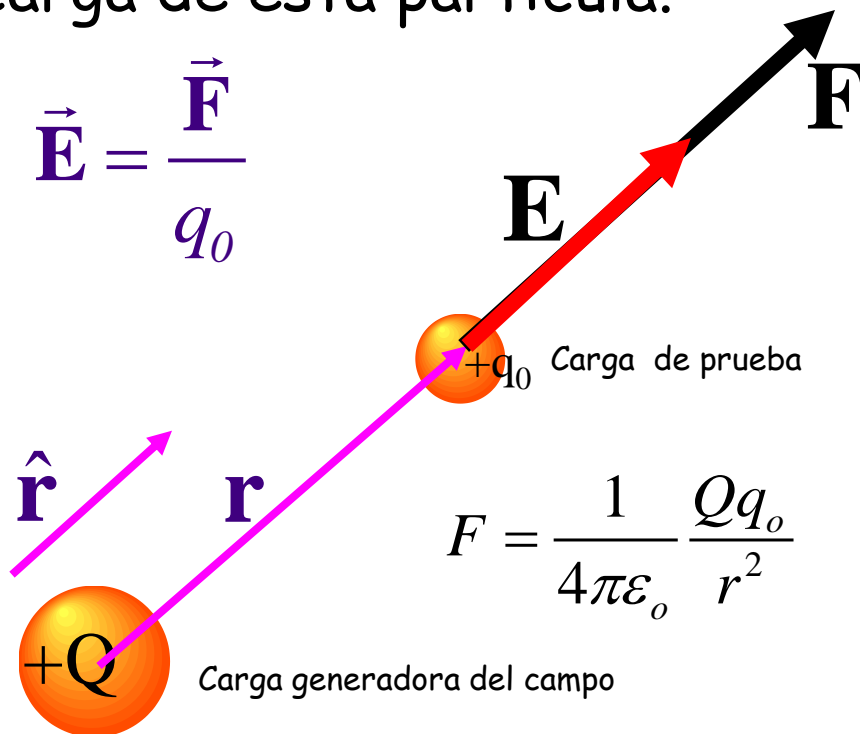
Campo Eléctrico de una Partícula

• El campo Eléctrico, E , es definido como la fuerza actuando sobre una partícula de prueba cargada, dividida por la carga de esta partícula.

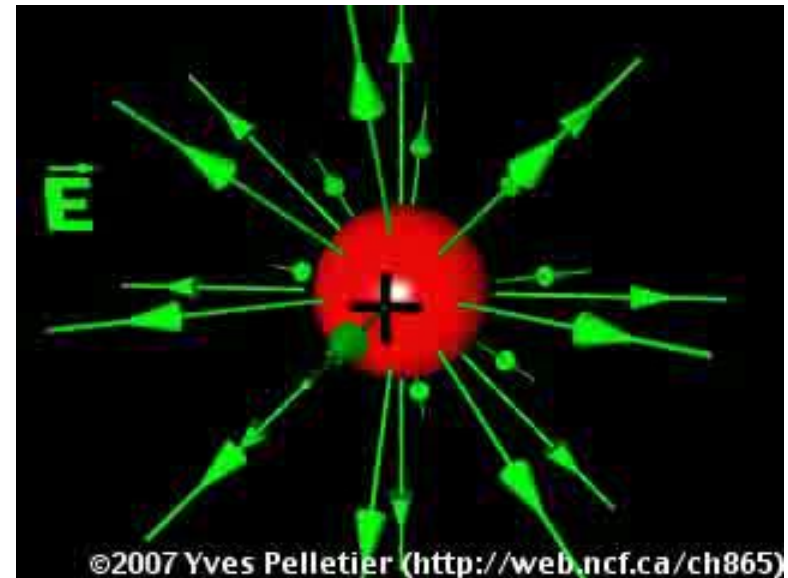
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

• El campo eléctrico de una partícula es

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$



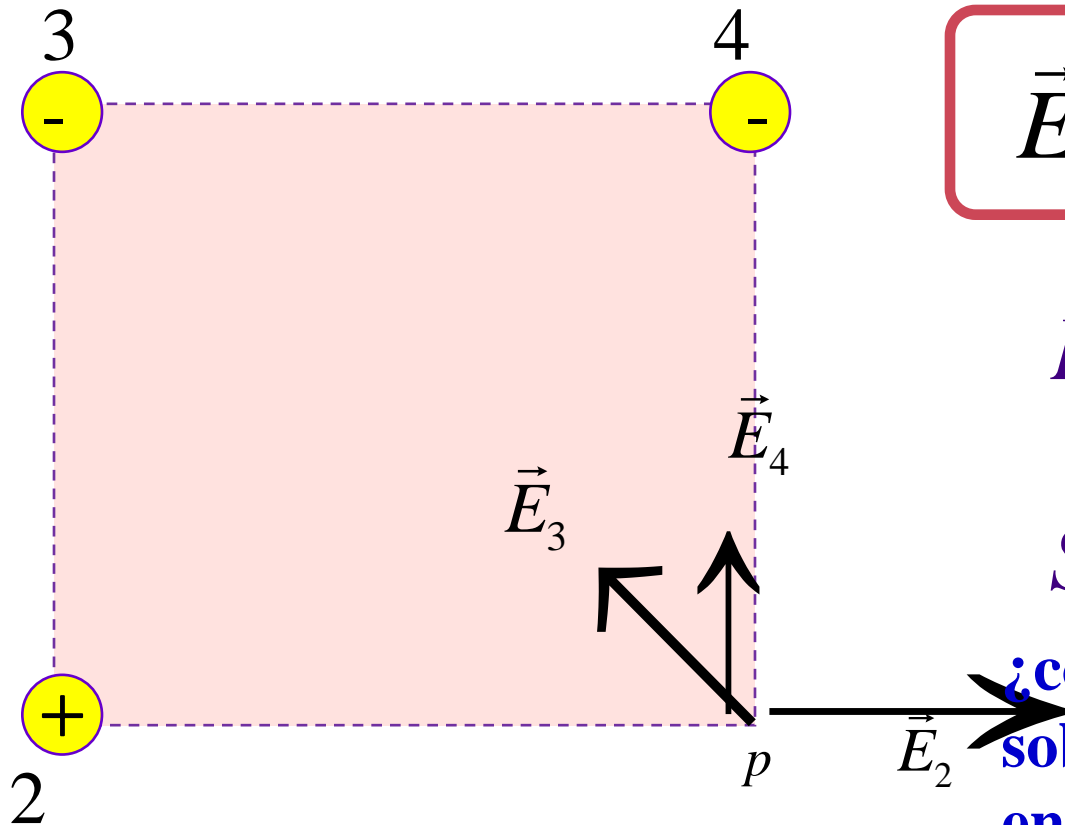
Esta expresión del campo E , es válida también para puntos fuera de esferas con carga distribuidas de manera uniforme.



EL PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN

- El campo eléctrico neto en un punto en el espacio, es la suma vectorial de las contribuciones de todas las partículas cargadas localizadas en ese lugar.
- El campo eléctrico con el que contribuye una partícula NO es afectado por la presencia de otras partículas cargadas.

EL CÁLCULO DEL CAMPO ELÉCTRICO DE VARIAS PARTÍCULAS



$$\vec{E}_p = \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4$$

$$\vec{E}_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

Suma Vectorial

¿cómo calcular la fuerza sobre una carga q ubicada en el punto p ?

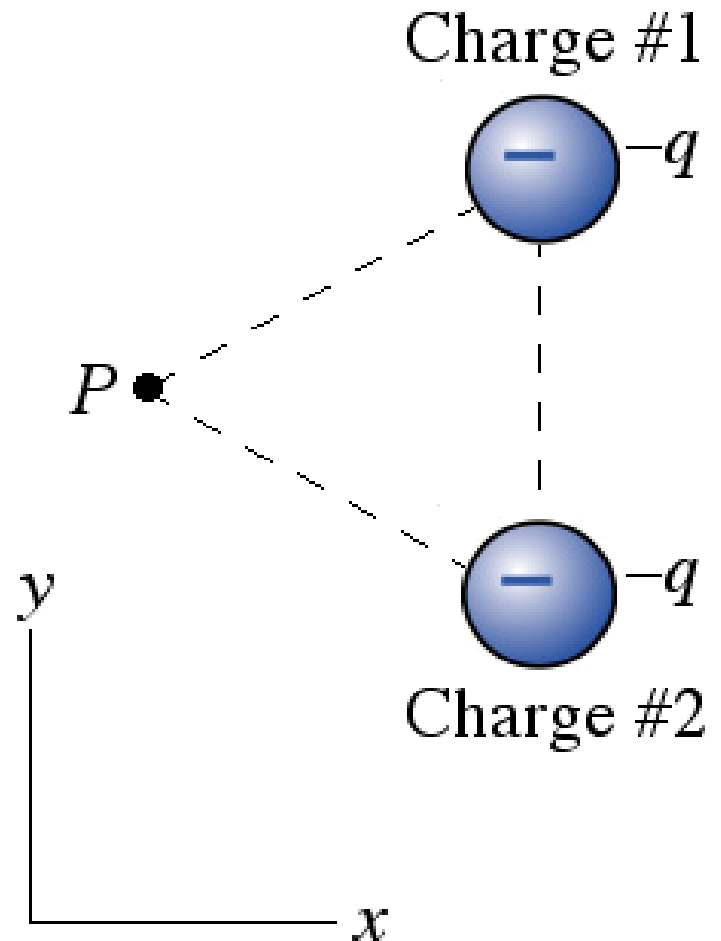
$$\vec{F} = q\vec{E}_p$$

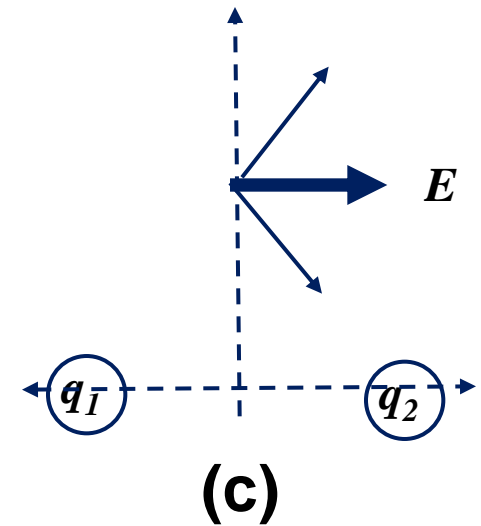
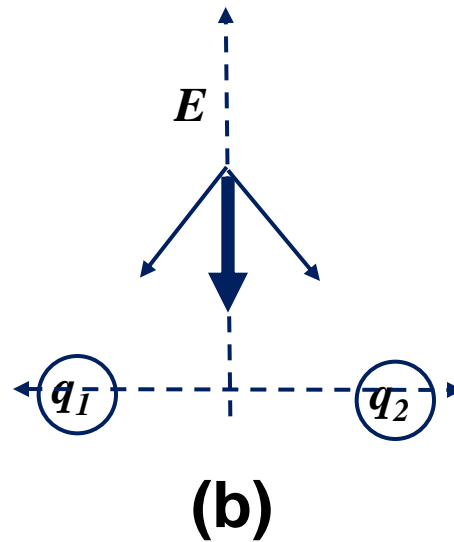
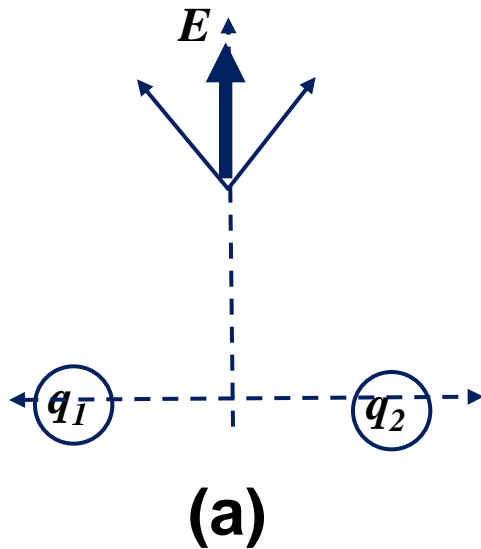
Pregunta de concepto

Dos cargas puntuales se encuentran sobre el lado vertical de un triángulo equilátero como se muestra. Las dos cargas puntuales tienen la misma carga negativa ($-q$).

El campo eléctrico neto que las Cargas #1 y #2 producen en el punto P

- A. is in the $+x$ direction
- B. is in the $-x$ direction
- C. is in the $+y$ direction
- D. is in the $-y$ direction
- E. none of the above



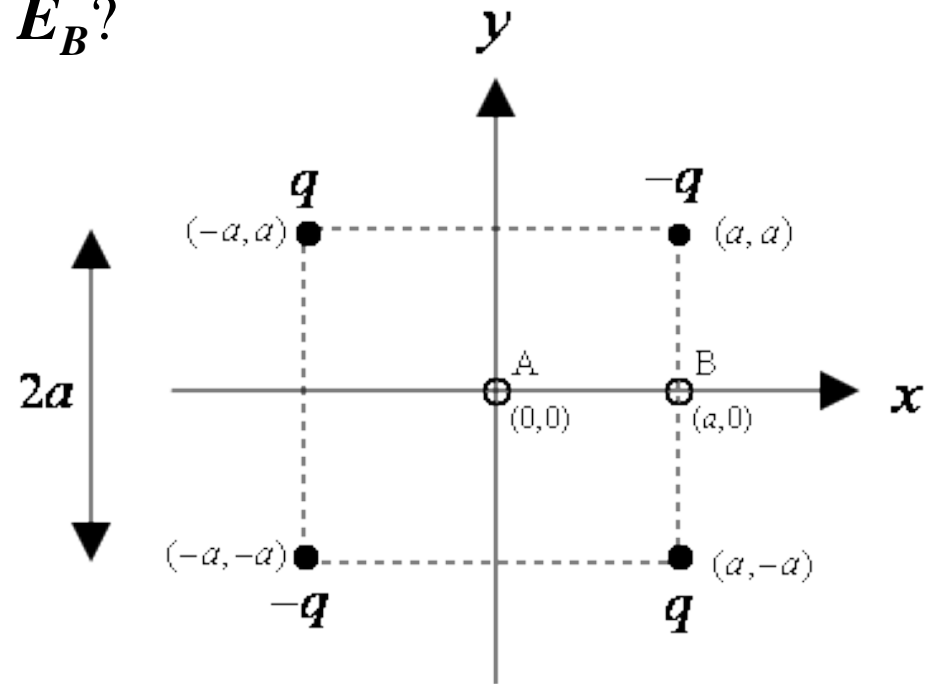


• ¿Qué pasaría con la aceleración de un electrón al ser colocado y luego liberado en un punto ubicado a la mitad de la distancia entre las cargas?

PREGUNTA DE CONCEPTO

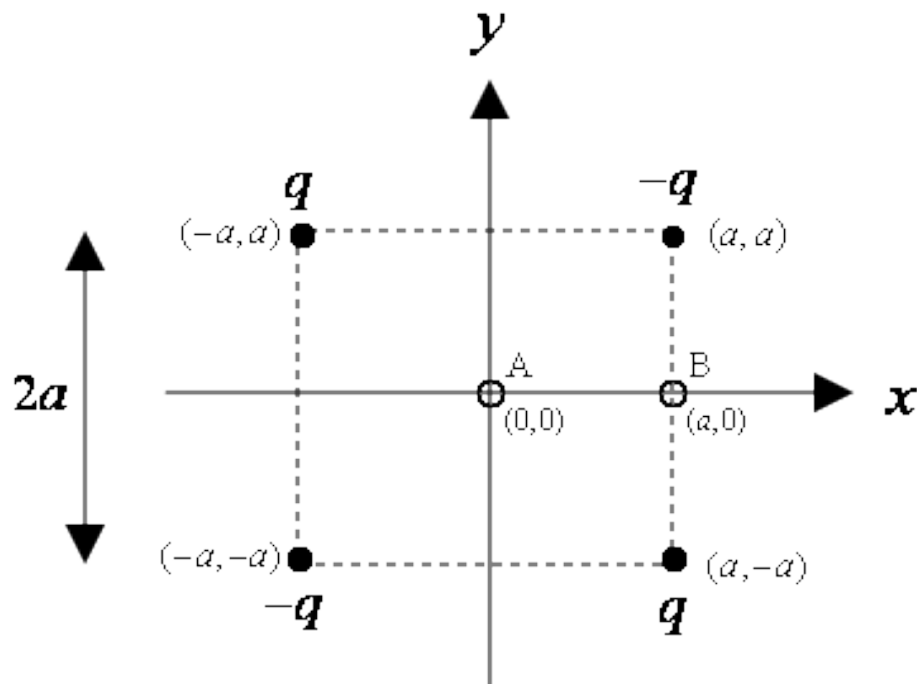
Four charges are placed at the corners of a square of sides $2a$. Let $a = 3$ m and $q = 2 \mu\text{C}$. At point B , located at $(x,y) = (a,0)$, what is the direction of the electric field, E_B ?

- (a) E_B is pointing towards positive x .
- (b) E_B is pointing towards negative x .
- (c) E_B is pointing towards positive y .
- (d) E_B is pointing towards negative y .
- (e) E_B is zero.



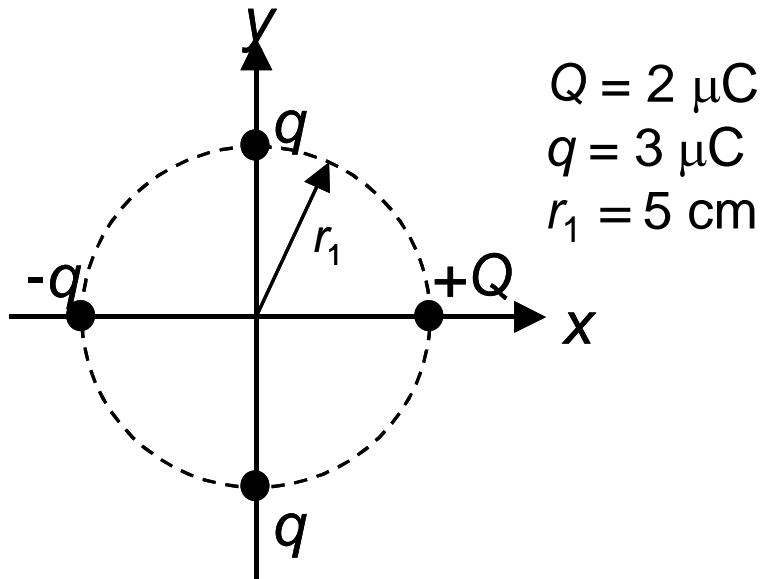
EJEMPLO CLÁSICO DE CAMPO ELÉCTRICO

Four charges are placed at the corners of a square of sides $2a$. Let $a = 3$ m and $q = 2$ μC . At point B , located at $(x,y) = (a,0)$, ¿cuál es la magnitud de la fuerza eléctrica sobre una partícula de 1 μC ubicada en el punto B , F_B ?



Ejemplo:

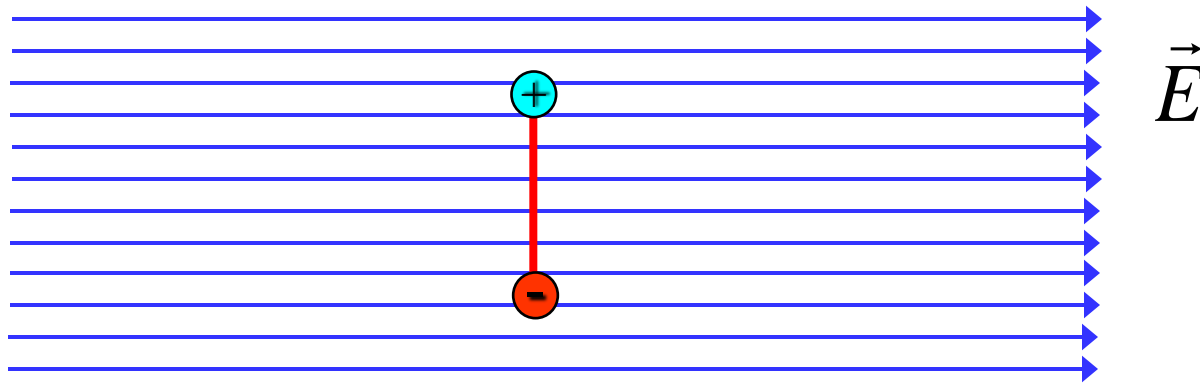
• Considere cuatro cargas igualmente espaciadas en el plano x-y alrededor de un círculo de radio r_1 como se muestra abajo. Calcule la magnitud de la fuerza sobre la carga de prueba $+Q$ debida a las otras tres cargas:



- A. $|F| = 16.2 \text{ N}$
- B. $|F| = 9.9 \text{ N}$
- C. $|F| = 18.2 \text{ N}$
- D. $|F| = 21.6 \text{ N}$
- E. $|F| = 37.8 \text{ N}$

Pregunta de concepto

- Un dipolo es un conjunto de dos cargas opuestas separadas una distancia muy pequeña
- El dipolo es colocado en un campo eléctrico uniforme como se muestra:



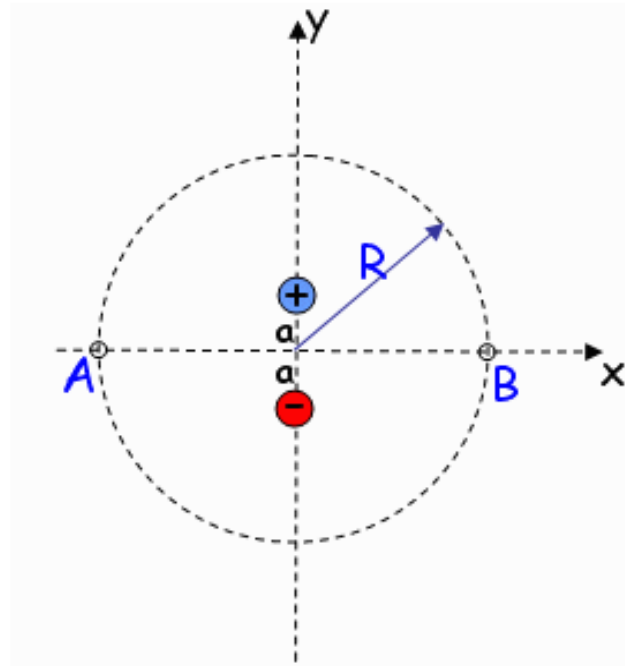
El torque neto sobre el dipolo es:

- A) cero
- B) horario
- C) anti-horario
- D) entrando a la página
- E) saliendo de la página



PREGUNTA DE CONCEPTO

Considere el dipolo eléctrico mostrado. ¿Cuál es la dirección del campo eléctrico en los puntos A y B ?



(a) $E(A) \uparrow$
 $E(B) \downarrow$

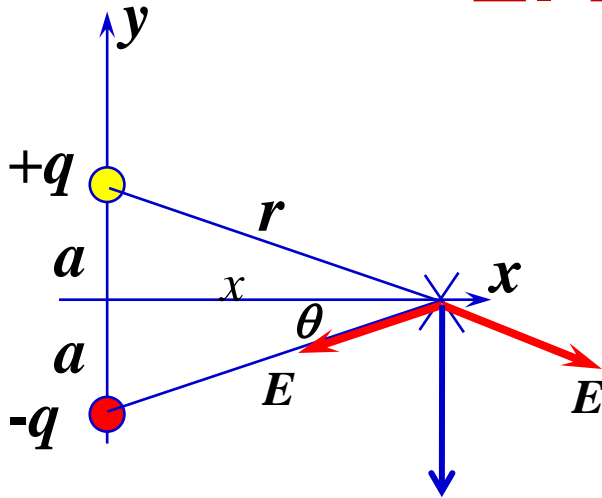
(b) $E(A) \downarrow$
 $E(B) \uparrow$

(c) $E(A) \uparrow$
 $E(B) \uparrow$

(d) $E(A) \downarrow$
 $E(B) \downarrow$

El Dipolo Eléctrico

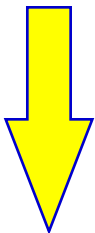
¿Cuál es el Campo E generado Por este arreglo de cargas?



Cálculo para un punto a lo largo del eje x : $(x, 0)$

$$E_x = ??$$

Simetría



$$E_x(x, 0) = 0$$

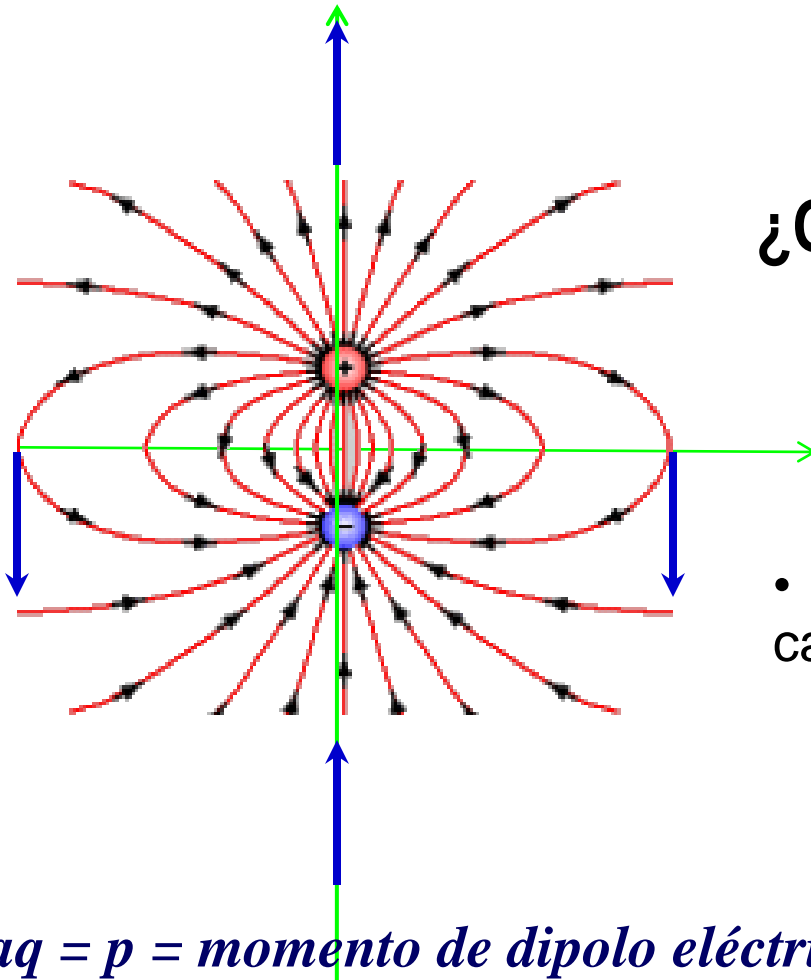
$$E_y = ??$$

$$E_y(x, 0) = -2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \text{sen}\theta$$

$$\text{sen}\theta = \frac{a}{r} \quad r^2 = x^2 + a^2$$

$$E_y(x, 0) = -2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q a}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

Líneas de Campo del dipolo Eléctrico



- Las líneas salen de la carga positiva y retornan a la negativa

¿Qué podemos observar sobre E ?

- $E_x(x,0) = 0$ • $E_x(0,y) = 0$
- El campo es más intenso entre las cargas
- Recordemos la expresión para el campo en cualquier punto sobre el eje x:

$$E_y(x,0) = -2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qa}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

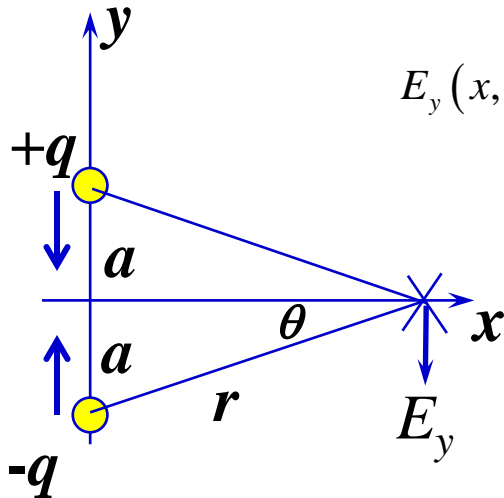
... para $r \gg a$,

$$E_y(x,0) \propto \frac{1}{x^3}$$

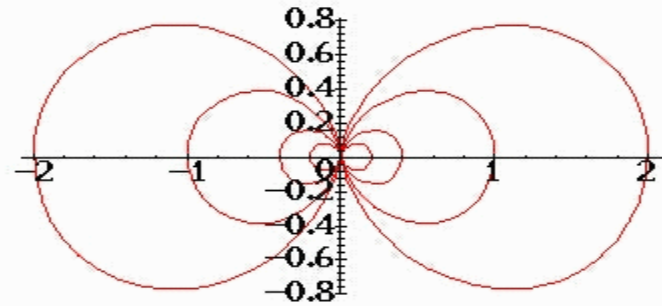
$2aq = p = \text{momento de dipolo eléctrico}$

$$E_y(x,0) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

El Dipolo Eléctrico: antenas

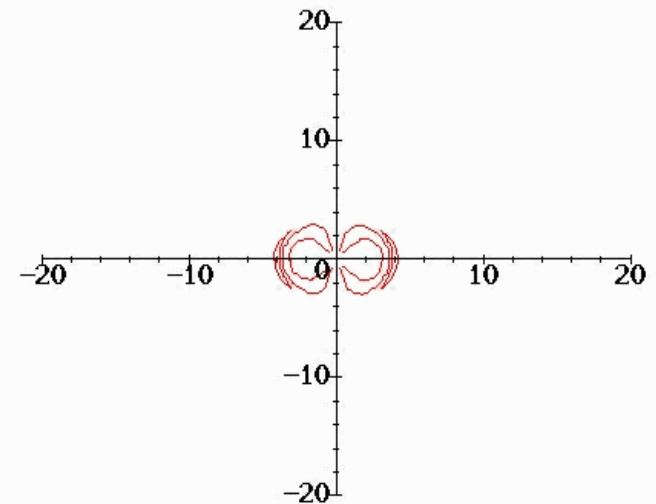


$$E_y(x,0) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

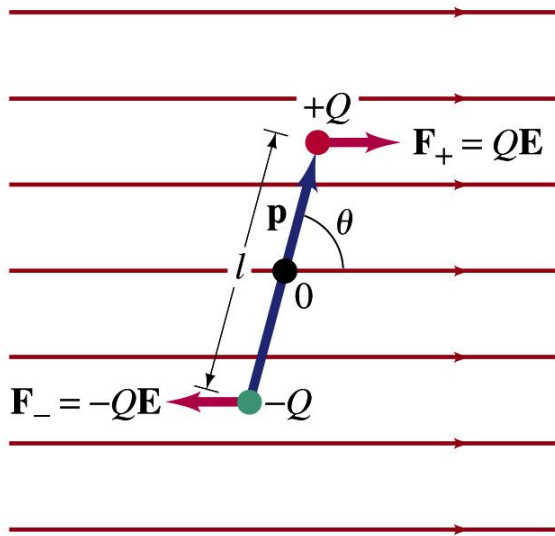


¿Qué pasaría con E_y si las cargas q y $-q$ oscilaran verticalmente, desde el origen, una distancia de $\pm a$?

- Aumentaría sólo en magnitud
- Mantiene la magnitud pero cambia de dirección
- Mantiene la dirección y variaría su magnitud
- Varía su magnitud y dirección. “Oscila”



Dipolo eléctrico en un campo eléctrico uniforme

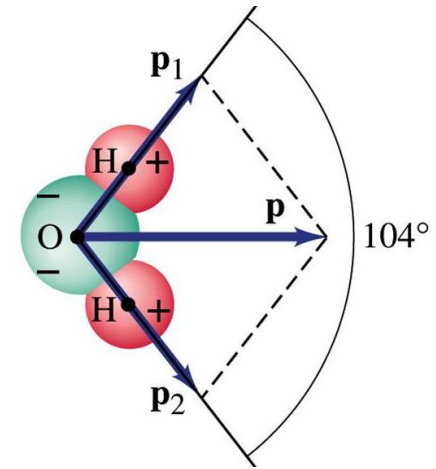


$$\tau = F l \text{sen } \theta$$

$$\tau = Q E l \text{sen } \theta$$

$$\vec{p} = Q l \hat{l} = \text{Momento de dipolo eléctrico}$$

$$\tau = p E \text{sen } \theta \quad \vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$$



El torque orienta el dipolo, \vec{p} , en la misma dirección del campo externo. ¿Cuál es la dirección del torque?

