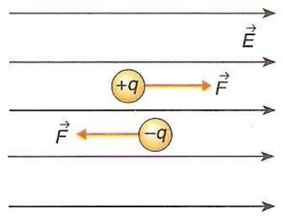
Movimiento de cargas en campo eléctrico

Sobre una partícula de masa m y carga q situada en el interior de un campo eléctrico actúa unafuerza eléctrica de dirección la del campo y sentido el del campo si la carga es positiva y el opuesto si la carga es negativa

$\vec{F} = q\vec{E}$; y $\boldsymbol{F} = m\,\boldsymbol{a}$ $\quad q\,\boldsymbol{E} = m\,\boldsymbol{a}$ $\quad \boldsymbol{a} = (q\,\boldsymbol{E}) / m$

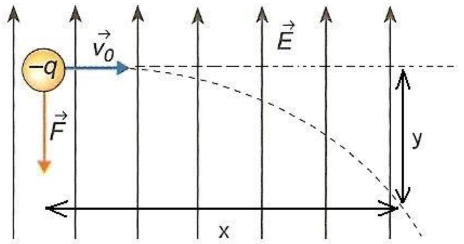
La trayectoria que surja la partícula dependerá de la dirección y sentido de su velocidad inicial:

Si la carga está en reposo o penetra en el campo con una velocidad paralela a éste, la carga se verá sometida a un MRUA:



Acción de un campo eléctrico sobre una carga positiva y otra negativa.

En el caso que una carga entre perpendicular al campo con una velocidad v_o :



$a_x = 0 \quad v_x = 0 \quad x = v_o t$

$a_y = \dfrac{q \cdot E}{m} \quad v_y = \dfrac{q \cdot E}{m} t \quad y = \dfrac{q E t^2}{2m}$

$$y = \frac{q E x^2}{2m\, v_o^2}$$

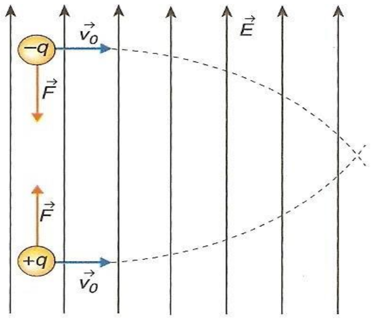
De acuerdo con la ecuación de la trayectoria, observamos cómo ésta es parabólica.

Al ser la fuerza eléctrica conservativa, la energía mecánica de una carga que se mueva espontáneamente permanece constante en el seno del campo eléctrico.

$$\Delta Em = 0 \;;\; \Delta Ec = -\,\Delta Ep = -q \cdot \Delta V$$

Si la carga eléctrica trasladada en la de un electrón y la diferencia de potencial entre los dos puntos es de 1 voltio, a esa variación de energía se la denomina electronvoltio (eV): 1 eV = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C 1V = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J

Un electronvoltio es la variación de energía que experimenta un electrón al ser acelerado poruna diferencia de potencial de un voltio

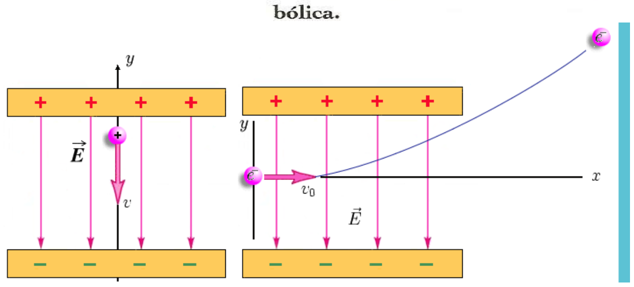


Una partícula que penetra perpendicularmente en el seno de un campo eléctrico sigue una trayectoria parabólica.

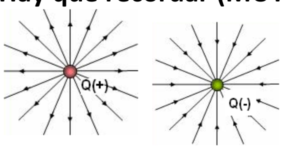
Especial atención al signo carga y signos E_p y V

Caso habitual: campo uniforme, velocidad paralela o perpendicular al campo

Ejemplo típico: partícula pasando entre placas cargadascon campo uniforme. Mientras se mueve entre las placas el movimiento es parabólico (el campo eléctrico crea fuerza y aceleración, analogía con el gravitatorio), pero fuera de las placas el movimiento es lineal.



Hay que recordar (MUY IMPORTANTE)



$\vec{F} = q\vec{E}$ $\quad q\,\boldsymbol{E} = m\,\boldsymbol{a}$ $\quad \boldsymbol{a} = (q\,\boldsymbol{E}) / m$

Una q+ que entra en un campo eléctrico ***E*** está sometida a una ***F*** en el mismo sentido de ***E***

Una q- que entra en un campo eléctrico ***E*** está sometida a una ***F*** en sentido contrario a ***E***

$W_{AB} = -\,\Delta Ep$

ΔEp positiva, W negativo, el trabajo se realiza contra el campo (en sentido opuesto campo) (fuerza externa, no espontáneo)

ΔEp negativa, W positivo, el trabajo lo realiza el campo (a favor del campo) (espontáneo)
$\Delta V = \Delta E_p / q$ $\Delta V = V_B - V_A = \Delta E_p / q = - W / q$ $W = - q (V_B - V_A)$
grad V=dV/***dr*** =−***E*** ΔV/***Δr*** = - ***E*** ΔV = - ***E Δr***

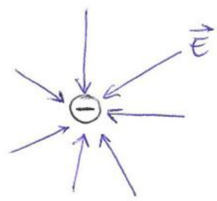
EJEMPLOS

Una partícula cargada negativamente pasa de un punto A, cuyo potencial es V_A, a otro B, cuyo potencial es $V_B < V_A$. Razone si la partícula gana o pierde energía potencial y discuta si el movimiento de la partícula es espontáneo.

La variación de energía potencial que experimenta la partícula depende de su carga y de la diferencia de potencial entre los puntos A y B:
$\Delta Ep = Ep_B - Ep_A = qV_B - qV_A = q(V_B - V_A) = q\Delta V$
Ahora bien, si la carga es negativa ($q < 0$) y si $V_B < V_A$ ($\Delta V = V_B - V_A < 0$), entonces $\Delta Ep > 0$. Por tanto, si la partícula aumenta su energía potencial, su movimiento NO será espontáneo. Podríamos haber llegado al mismo resultado sabiendo que las partículas cargadas positivamente se mueven espontáneamente de mayor a menor potencial, y teniendo en cuenta que el comportamiento de las cargas negativas es opuesto al de las positivas.

Una carga -q se aleja espontáneamente de otra carga Q que crea un campo eléctrico a su alrededor. ¿Puede deducir a partir de esta información el signo de la carga Q? ¿Aumenta o disminuye el potencial eléctrico conforme nos alejamos de Q? ¿Aumenta o disminuye la energía potencial eléctrica de la carga -q?

Si una carga negativa (-q) se aleja espontáneamente de otra carga Q es repelida por ella, deducimos que ambas cargas deberán tener el mismo signo. Así pues, la carga Q que crea el campo será negativa.

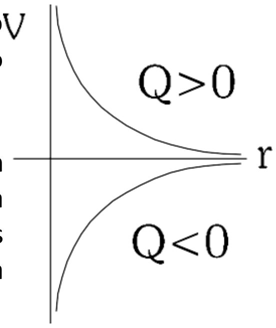


Las líneas de fuerza del campo eléctrico creado por la carga Q se muestran en la figura de la derecha; el campo y el potencial electrostáticos están relacionados de la manera siguiente:
E = -***grad*** V ***E*** = - ΔV/ ***Δr***
La relación anterior nos indica que el campo eléctrico está dirigido en el sentido en el que es máxima la disminución del potencial eléctrico; conforme nos alejamos de Q nos estamos moviendo en sentido contrario al campo eléctrico, por lo que el potencial eléctrico aumentará. Podríamos haber llegado a la misma conclusión partiendo de la expresión del potencial eléctrico creado por una carga Q a una cierta distancia, r, de ella:
$V = KQ/r$
Teniendo en cuenta que la carga Q es negativa, conforme aumenta r aumentará el valor del potencial (que siempre será negativo).
Por último, al ser espontaneo el movimiento de la carga -q (pues es repelida por la carga Q), podemos afirmar que su energía potencial disminuirá. En efecto, la variación de energía potencial de la carga -q será: $\Delta Ep = -q\Delta V$
Como el potencial aumenta conforme nos alejamos de Q, entonces $\Delta V > 0$; por tanto, $\Delta Ep > 0$, esto es, la energía potencial aumentara.

a) Razonar si la Energía potencial electrostática de una carga q aumenta o disminuye, al pasar del pto A al pto B, siendo el potencial en A mayor que en B.
b) El punto A está más alejado que el B de la carga Q que crea el campo. Razonar si la carga Q es positiva o negativa (emplear también la información del apartado a).

a)La energía potencial electrostática (Ep_e) almacenada por una partícula puntual cargada q, en el interior del campo electrostático creado por una carga puntual Q , viene dada por la expresión $Ep_e = q\ V$, donde V es el potencial creado por la carga Q en el punto en el que se encuentra q.
La energía potencial en A será $Ep_{eA} = q\ V_A$
Del mismo modo, la energía potencial en B será $Ep_{eB} = q\ V_B$
Como nos dicen que $V_A > V_B$, vemos que el hecho de que la energía puede aumentar o disminuir al pasar de A a B, dependerá del signo de la carga q. De hecho:
Si q es negativa: $Ep_{eA} < Ep_{eB}$ La energía potencial aumenta al pasar de A a B.
Si q es positiva: $Ep_{eA} > Ep_{eB}$ La energía potencial disminuye al pasar de A a B.

b) Para resolver esta cuestión nos centramos en las características del potencial electrostático creado por una carga Q puntual: V = K Q/r donde, r es la distancia a la que se encuentra el punto estudiado



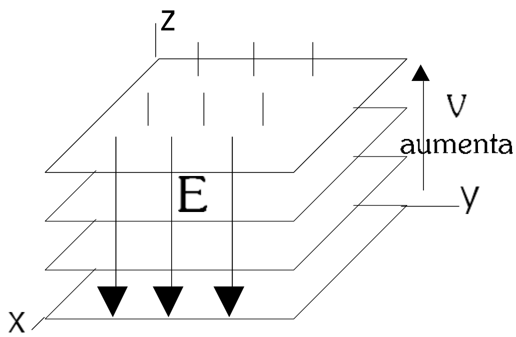
$V_A = K\,Q / r_A \qquad V_B = K\,Q / r_B$

Como nos dicen que $r_A > r_B$ y que $V_A > V_B$ la única forma de ambas cosas ocurran simultáneamente es que Q sea una carga negativa. Puede verse más claramente en la gráfica adjunta. Cuando Q < 0, vemos que los puntos más cercanos tienen menor potencial (más negativo). Si la carga fuera positiva, ocurriría lo contrario, el potencial V disminuiría con la distancia.

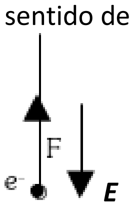
En una región del espacio el potencial electrostático aumenta en el sentido positivo del eje Z yno cambia en las direcciones de los otros dos ejes.
Dibujar en un esquema las líneas del campo electrostático y las superficies equipotenciales.
¿En qué dirección y sentido se moverá un electrón, inicialmente en reposo?

Recordemos los conceptos que están en juego en esta cuestión y la relación existente entre ellos:
- Intensidad de campo electrostático (***E***): fuerza por unidad de carga que sufre una partícula cargada situada en el interior del campo electrostático. Las líneas de campo indican la dirección y sentido que tiene ***E*** en cada punto del espacio.
- Potencial (V): Energía por unidad de carga que almacena una partícula cargada en el interior del campo electrostático. Las superficies equipotenciales son aquellas en las que el valor del potencial es constante para todos sus puntos.
- Relación entre ambas magnitudes:

$\Delta V = - \boldsymbol{E}\, \Delta \boldsymbol{r}$



Y a la inversa, el campo eléctrico nos indica cómo varía el potencial.
Las líneas de campo electrostático son perpendiculares a las superficies equipotenciales, y su sentido es aquél en el que el potencial disminuye (decimos que las líneas de campo “van” del mayor al menor potencial)
En la cuestión que nos ocupa, el potencial varía en la dirección del eje Z, y se mantiene constante en las otras dos direcciones X e Y. Por tanto, las superficies equipotenciales son planos paralelos a OXY, como aparece en el dibujo. Las líneas de campo, al ser perpendiculares a estas superficies, deben ser rectas paralelas a OZ.
Su sentido es tal que indica la disminución del potencial. Así que, si V aumenta en el sentido positivo del eje Z, el sentido del campo electrostático será el negativo del eje OZ.

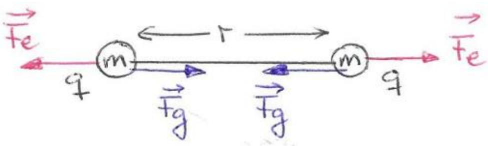


b) Un electrón, como cualquier carga eléctrica q en el interior de un campo electrostático ***E***, sufrirá una fuerza dada por la expresión $\boldsymbol{F} = q\,\boldsymbol{E}$
En este caso, como la carga del electrón es negativa, el sentido de la fuerza será el contrario al del campo electrostático. ***F*** irá en el sentido positivo del eje OZ, y la aceleración que sufre el electrón también (2ª ley de Newton)
Como inicialmente la partícula estaba en reposo, el movimiento será rectilíneo uniformemente acelerado, en dirección del eje OZ y sentido positivo.

a) Una carga se desplaza en la misma dirección y sentido que un campo eléctrico uniforme, de forma que su energía potencial aumenta conforme se desplaza. ¿Qué signo tendrá la carga? ¿Será espontáneo su movimiento? ¿Aumenta o disminuye el potencial eléctrico de la carga?
b) ¿Qué relación debe existir entre la carga y la masa de dos partículas idénticas separadas una cierta distancia para que la fuerza de atracción gravitatoria entre ambas se compense con la fuerza de repulsión electrostática?
$G = 6{\acute{}}67\cdot10^{-11}\ N\cdot m^2\cdot kg^{-2}$; $K = 9\cdot10^{9}\ N\cdot m^2\cdot kg^{-2}$

a)Si la energía potencial eléctrica de la carga aumenta, entonces su movimiento NO será espontáneo, por lo que la fuerza eléctrica que existe sobre ella irá dirigida en sentido contrario a su movimiento (pues hay que realizar un trabajo contra el campo para moverla), o lo que es lo mismo, en sentido contrario al campo eléctrico. Así pues, la carga será negativa.
Podríamos haber llegado a la misma conclusión sabiendo que la variación de energía potencial de la carga se escribe de la manera siguiente: $\Delta E_p = q \cdot \Delta V$
Nos dicen que la energía potencial aumenta, por lo que $\Delta E_p > 0$; por otra parte, la partícula se mueve en la misma dirección y sentido que el campo eléctrico, por lo que de acuerdo con la relación entre campo y potencial electrostáticos ***E*** = -***grad*** V ***E*** = - ΔV/ ***Δr*** el potencial electrostático deberá disminuir ($\Delta V < 0$).
Finalmente, para que la energía potencial de la carga aumente, ésta deberá ser negativa.
W=-ΔEp = - q ΔV = negativo

b) Sea m la masa de cada partícula y q su carga; si ambas partículas tienen la misma carga (positiva o negativa), entonces entre ambas existirá una fuerza gravitatoria de atracción y una fuerza eléctrica de repulsión. Como ambas fuerzas son iguales, deberá cumplirse que:



$\vec{F}_e + \vec{F}_g = 0 \longrightarrow F_e = F_g$
Igualando ambas fuerzas, tendremos: $K qq/r^2 = G\, mm/r^2$ K $K q^2/r^2 = G\, m^2/r^2$
$q/m = \sqrt{(G/K)}$ = **8,61.10^{-11} C/kg**
Así pues, para que la fuerza de atracción gravitatoria compense a la fuerza de repulsión eléctrica, la carga de cada partícula ha de ser $8{,}61 \cdot 10^{-11}$ veces su masa, o lo que es lo mismo, la masa de cada una deberá ser $1{,}16 \cdot 10^{10}$ veces mayor que su carga.

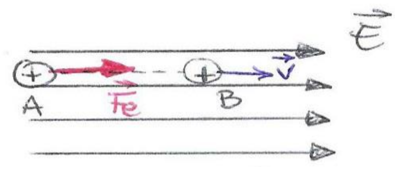
a) Si se libera un electrón desde el reposo en un campo eléctrico uniforme, ¿.aumenta o disminuye su potencial eléctrico? .Y su energía potencial eléctrica? .Que signo tiene el trabajo necesario para desplazarlo en el mismo sentido que las líneas del campo?
b) En cierta región del espacio el potencial electrostático es constante. ¿Qué puede decir sobre el campo electrostático en esa región? ¿Cómo se llama esa región del espacio? ¿Qué trabajo hay que realizar para desplazar una carga de un punto a otro en dicha región?

a) Si un electrón (q-) es liberado dentro de un campo eléctrico uniforme, la fuerza eléctrica que actúa sobre el tendrá sentido contrario a dicho campo, por lo que se moverá en sentido contrario a este. De acuerdo con la relación entre el campo y el potencial electrostáticos deducimos que el campo está dirigido en el sentido en que disminuye el potencial eléctrico. Como el electrón se mueve en sentido contrario al campo, su potencial eléctrico aumentara.
Como el movimiento del electrón es espontaneo, su energía potencial electrostática disminuirá; en efecto, la variación de energía potencial se calcula de la manera siguiente: $\Delta Ep = q\, \Delta V$ Conforme el electrón se mueve, el potencial eléctrico aumenta, por lo que será $\Delta V > 0$; por otra parte, su carga es negativa ($q < 0$), por lo que $\Delta Ep < 0$, es decir, la energía potencial del electrón disminuye.
Por último, el trabajo necesario para desplazar al electrón en el mismo sentido que las líneas del campo será negativo, pues hay que realizarlo en contra del campo eléctrico (movimiento no espontaneo): $W = - \Delta Ep = - q\, \Delta V$
Si el electrón se desplaza en el mismo sentido que el campo eléctrico el potencial disminuye ($\Delta V < 0$); como $q < 0$, entonces será $W < 0$.

b) De acuerdo con la relación entre el campo y el potencial electrostáticos: ***E*** = -***grad*** V ***E*** = - ΔV/ ***Δr*** deducimos que si en una región del espacio el potencial es constante, entonces el campo será nulo en ella.
Esta región será una superficie equipotencial, y el trabajo necesario para desplazar una carga dentro de ella será:
$W = - \Delta Ep = - q\Delta V$
Como el potencial es constante, entonces $\Delta V = 0$, por lo que no habrá que realizar trabajo para desplazar dicha carga.

a) En una determinada región del espacio en la que existe un campo eléctrico uniforme se suelta un protón en el punto A, de modo que en el punto B, situado a 20 cm a la derecha de A, el protón tiene una velocidad de $1{,}2 \cdot 10^3$ ms^{-1}. Explique razonadamente que punto de los señalados en el enunciado tendrá un mayor potencial eléctrico, así como el sentido del campo eléctrico.

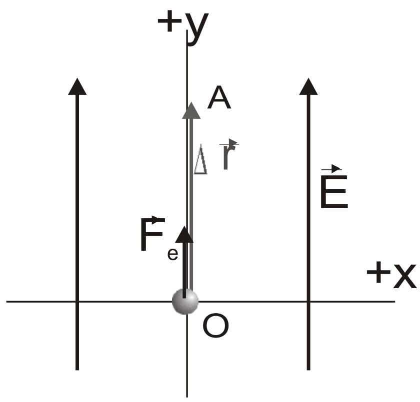
b) Comente la siguiente frase indicando si le parece correcta o incorrecta: “El campo eléctrico en una determinada superficie es cero, por lo que también será cero el potencial en la misma”.



a) La carga del protón es positiva; si se mueve espontáneamente de A a B (pues aumenta su velocidad) significa que la fuerza eléctrica que se ejerce sobre él va dirigida en la misma dirección y sentido que el campo eléctrico; ahora bien, el campo y el potencial electrostáticos están relacionados: $\boldsymbol{E} = -\boldsymbol{grad}\ V$ $\boldsymbol{E} = -\Delta V/\boldsymbol{\Delta r}$
De donde deducimos que el potencial eléctrico disminuye conforme se mueve el protón, esto es, el potencial en A será mayor que el potencial en B. Por tanto, el campo eléctrico ira dirigido de A a B.

b) Sabemos que el campo y el potencial electrostáticos están relacionados: $\boldsymbol{E} = -\boldsymbol{grad}\ V$ $\boldsymbol{E} = -\Delta V/\boldsymbol{\Delta r}$
Si el campo eléctrico es cero (no existe) en una determinada superficie, entonces, de acuerdo con la expresión anterior, el potencial eléctrico deberá ser constante en dicha superficie, no necesariamente nulo. Se tratará, por tanto, de una superficie equipotencial.

Una partícula de carga 6 10^{-6} C se encuentra en reposo en el punto (0,0). Se aplica un campo eléctrico uniforme de 500 NC^{-1}, dirigido en el sentido positivo del eje OY.
Describa la trayectoria seguida por la partícula hasta el instante en que se encuentra en el punto A, situado a 2 m del origen ¿aumenta o disminuye la energía potencial de la partícula en dicho desplazamiento?, ¿en qué se convierte dicha variación de energía?
Calcule el trabajo realizado por el campo en el desplazamiento de la partícula y la diferencia de potencial entre el origen y el punto A.



Nos encontramos ante una partícula dentro de un campo eléctrico uniforme.
La partícula sufrirá una fuerza eléctrica debido a la acción del campo eléctrico $\boldsymbol{E}$.
Dicha fuerza viene dada por $\boldsymbol{F_e} = q\ \boldsymbol{E}$, y la aceleración que sufre, aplicando la segunda ley de Newton:
$\Sigma\boldsymbol{F} = m\ \boldsymbol{a}$ $\boldsymbol{a} = \Sigma\boldsymbol{F} / m = \boldsymbol{F_e} / m = q\ \boldsymbol{E} / m$ = constante
La aceleración es constante, y como tanto q como m son positivas, va en la misma dirección y sentido que el campo.
Como la aceleración es constante, la partícula sigue un movimiento uniformemente acelerado. La trayectoria será recta, ya que parte del reposo. La velocidad será siempre paralela a la aceleración (y al campo eléctrico).
Sabemos que $W = -\Delta Ep$ $\Delta Ep = -W$ y en este caso el trabajo W realizado por la fuerza electrostática es positivo, ya que va a favor del desplazamiento Así, la variación de energía potencial será negativa, con lo que Ep_e disminuirá. Ya que la fuerza electrostática es conservativa, se cumple que
$\Delta Ec + \Delta Ep = 0$ $\Delta Ec = -\Delta Ep$
La disminución de energía potencial se traduce en un aumento de energía cinética.
<u>W realizado por el campo</u>
$\boldsymbol{E} = 500\ \boldsymbol{j}$ N/C $\boldsymbol{\Delta r} = 2\ \boldsymbol{j}$ m $q = 6.10^{-6}$ C
La fuerza electrostática que sufre la partícula es constante ($\boldsymbol{F_e} = q\ \boldsymbol{E}$ = cte). En ese caso, podemos calcular el trabajo realizado mediante la expresión
$W = \boldsymbol{F_e}\ \boldsymbol{\Delta r} = q\ \boldsymbol{E}\ \boldsymbol{\Delta r} = 6.10^{-6}\ 500\ \boldsymbol{j}\ 2\ \boldsymbol{j} = \mathbf{6.10^{-3}\ J}$ (recuerda que $\boldsymbol{j}.\boldsymbol{j}$ =1, o bien 1.1. cosα = 1.1.1 = 1
<u>Diferencia de potencial</u>
La diferencia de potencial la calculamos a partir de la variación de energía potencial: $\Delta V = \Delta Ep/q$ y como $\Delta Ep = -W$
$\Delta V = \Delta Ep/q = -W/q = -6.10^{-3}\ J / 6.10^{-6} = \mathbf{-1000\ V}$
También se puede hacer así: $\Delta V = -\boldsymbol{E}\ \boldsymbol{\Delta r} = -500\ \boldsymbol{j}\ 2\ \boldsymbol{j} = \mathbf{-1000\ V}$

Un electrón que se mueve con una velocidad $\vec{v}=2\times10^{6}\vec{i}\ ms^{-1}$ penetra en una región en la que existe un campo eléctrico uniforme. Debido a la acción del campo, la velocidad del electrón se anula cuando éste ha recorrido 90 cm. Calcule, despreciando los efectos de la fuerza gravitatoria:
a) El módulo, la dirección y el sentido del campo eléctrico existente en dicha región.
b) El trabajo realizado por el campo eléctrico en el proceso de frenado del electrón.

Datos: Masa del electrón, me = $9{,}11\times10^{-31}$ kg;
Valor absoluto de la carga del electrón, e = $1{,}60\times10^{-19}$ C (es negativa)

a) Siendo la velocidad hacia x positivas, la fuerza es de frenado estará dirigida hacia x negativas.
Como $\vec{F}=q\vec{E}$, dado que la carga del electrón es negativa, el campo eléctrico está dirigido hacia x positivas, en el mismo sentido que la velocidad.
Podemos plantear la conservación de la energía mecánica: inicialmente antes de entrar solo tiene energía cinética y al frenarse completamente (v=0) solamente tiene energía potencial del campo eléctrico.
Como es un campo eléctrico uniforme y E=-grad(V), en el eje x podemos plantear $E=-\Delta V/\Delta x$
Por definición el potencial es la energía potencial eléctrica por unidad de carga (V = Ep/q), (Ep = qV) por lo que
Ec = Ep $\quad \frac{1}{2} mv^2 = q\,\Delta V$ y como $E = -\Delta V/\Delta x \quad \Delta V = -E\,\Delta x \quad \frac{1}{2} mv^2 = q\,\Delta V = -q\,E\,\Delta x$
$\frac{1}{2} mv^2 = -q\,E\,\Delta x \quad E = (mv^2) / (-2q\,\Delta x) = (9{,}11.10^{-31} . 2.10^6)^2 / (-2\,(-1{,}6.10^{-19})\,0{,}9 =$ **12,65 V/m (N/C)**
Vectorialmente: ***E* = 12,65 *i* V/m (N/C)**
b) Por el teorema de las fuerzas vivas ya que solo actúa la fuerza del campo eléctrico W=ΔEc, y al mismo tiempo por la definición de Energía potencial W=-ΔEp; en este caso ΔEc=-ΔEp ya que ΔEc+ΔEp=0 al conservarse la energía mecánica.
$W=-\Delta Ep = -q\,\Delta V = -q\,(-E\,\Delta x) = -(-1{,}6.10^{-19})\,(-12{,}65 . 0{,}9) =$ **$1{,}82.10^{-18}$ J**