ELECTROMAGNETISMO. PROBLEMAS

1. Dúas cargas eléctricas de $2,0\cdot10^{-5}$ C e $-1,7\cdot10^{-4}$ C distan entre si 10 cm.
a) Que traballo haberá que realizar sobre a segunda carga para afastala da primeira outros 40 cm na mesma dirección?
b) Que forza se exercerán mutuamente a esa distancia?
Dato: K = 9·10⁹ N·m²·C⁻²

a) O traballo, realizado pola forza do campo, para mover unha carga q dende un punto de potencial V_1 a outro de potencial V_2 é:

$$W_{1\to2} = q \cdot (V_1 - V_2)$$

Polo tanto, temos que calcular o potencial xerado pola primeira carga nos dous puntos onde se atopa a segunda, que é a que se move.
O potencial xerado por unha carga *q* a unha distancia *r* é:

$$V = k \cdot \frac{q}{r}$$

Substituíndo q = $2,0\cdot10^{-5}$ C, r_1 = 10 cm = 0,1 m , r_2 = 50 cm = 0,5 m, e operando, obtemos:
$V_1 = 1,8\cdot10^6$ V , $V_2 = 3,6\cdot10^5$ V
Agora podemos calcular o traballo necesario para mover a carga q' = $-1,7\cdot10^{-4}$ C:
$W_{1\to2} = q \cdot (V_1 - V_2) = -1,7\cdot10^{-4}\cdot(1,8\cdot10^6 - 3,6\cdot10^5) = \boxed{-2,5\cdot10^2 \mathrm{J}}$

O traballo é negativo, o que quere dicir que teñen que realizalo forzas exteriores ao campo, xa que as forzas existentes entre esas dúas cargas, por seren de distinto signo, son atractivas.

b) Para determinar a forza que se exercen mutuamente dúas cargas eléctricas situadas a unha certa distancia unha da outra empregaremos a Lei de Coulomb, que nos di que o módulo de dita forza é directamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao cadrado da distancia que as separa:

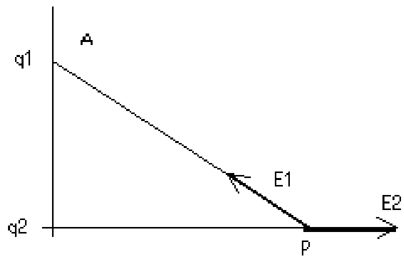
$$F = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Substituíndo os datos que temos queda $|F|$ = 122,4 N (onde a forza existente entre as dúas cargas é de tipo atractivo, e polo tanto, debería ser negativa).

2. No punto A de coordenadas (0,15) hai unha carga de $-6,0\cdot10^{-5}$ C. Na orixe de coordenadas hai outra de $1,5\cdot10^{-4}$ C. Calcula:
a) A intensidade do campo eléctrico resultante no punto P de coordenadas (36,0).
b) O potencial resultante nese punto.
Dato: As coordenadas exprésanse en metros, K = 9·10⁹ N·m²·C⁻²

a) A intensidade do campo creado por unha carga q a distancia ***r*** é unha magnitude vectorial que calcularemos a partir da expresión:

$$\vec{E} = K \cdot \frac{q}{r^2}\overrightarrow{u_r}$$



onde *q* é carga creadora do campo, *r* é o módulo do vector que marcaría a posición do punto no que buscamos a intensidade do campo respecto ao punto en que se atopa a carga creadora do campo. As compoñentes deste vector de posición obtémolas restándolle ás coordenadas do extremo do vector (punto no que buscamos a intensidade do campo), as da orixe (punto no que se atopa a carga creadora do campo).
$\overrightarrow{u_r}$ é o vector unitario do vector de posición.
As cargas q_1 e q_2 crean cada unha delas un campo no punto P e a intensidade total do campo creado polo conxunto das dúas cargas obterémolo como a suma vectorial das intensidades dos campos creados por cada unha delas.

Achemos entón as intensidades dos campos creados polas cargas q_1 e q_2:
En primeiro lugar, determinaremos os vectores de posición r_1 e r_2 do punto P respecto a cada unha das cargas:

$$\overrightarrow{r_1} = \overrightarrow{r_{1x}} + \overrightarrow{r_{1y}}$$

onde r_{1x} = coordenada X do punto P - coordenada X do punto A, de módulo 36 m
r_{1y} = coordenada Y do punto P - coordenada Y do punto A, de módulo -15 m
de maneira que:

$$\overrightarrow{r_1} = 36\vec{\imath} - 15\vec{\jmath}\ m$$

O seu módulo $r_1 = (362 + 152)^{1/2}$ = 39 m e o seu vector unitario: $\overrightarrow{u_1} = \frac{36\vec{\imath}-15\vec{\jmath}}{39}$
O vector de posición de P respecto á orixe será:

$$\overrightarrow{r_2} = \overrightarrow{r_{2x}} + \overrightarrow{r_{2y}}$$

onde r_{2x} = 36 - 0 = 36 m, r_{2y} = 0 - 0 = 0 m, e o seu vector unitario: $\overrightarrow{u_2} = \vec{\imath}$

$$\overrightarrow{r_2} = 36\vec{\imath}\ \mathrm{m}$$

O vector intensidade de campo creado pola carga $q_1=-6\cdot10^{-5}$ C no punto P obterémolo substituíndo na expresión:

$$\vec{E} = K \cdot \frac{q}{r^2}\overrightarrow{u_r}$$

$$\overrightarrow{E_1} = -328\vec{\imath} + 137\vec{\jmath}\ \mathrm{N \cdot C^{-1}}$$

Para a carga $q_2 = 1{,}5\cdot10^{-4}$ C:

$$\overrightarrow{E_2} = 1041{,}7\vec{\imath}\ N/C$$

O campo total será:

$$\boxed{\vec{E} = \overrightarrow{E_1} + \overrightarrow{E_2} = 714\vec{\imath} + 137\vec{\jmath}\ \mathrm{N \cdot C^{-1}}}$$

O seu módulo:

$$E = (714 + 137)^{1/2} = 727\mathrm{N\cdot C^{-1}}$$

b) O potencial eléctrico creado por unha carga nun punto do seu campo é unha magnitude escalar directamente proporcional á carga creadora e inversamente proporcional á distancia do punto a carga e vén dado pola expresión:

$$V = K \cdot \frac{q}{r}$$

Cando sobre ese punto actúan dúas cargas cada unha crea o seu propio potencial e en consecuencia o potencial total será a suma alxebraica dos potenciais, isto é, coma no caso das forzas, aplícase o principio de superposición, coa diferencia de que, como neste caso os potenciais son magnitudes escalares, a suma será alxebraica.
O potencial creado pola carga q_1 será:

$$V_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{-6 \cdot 10^{-5}}{39} = -13800\ \mathrm{V}$$

e o creado pola carga q_2 será:

$$V_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1{,}5 \cdot 10^{-4}}{36} = 37500\ \mathrm{V}$$

O potencial total será:

$$\boxed{V = V_1 + V_2 = 23700\ \mathrm{V}}$$

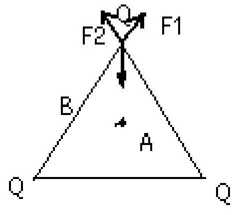
3. Tres cargas puntuais iguais de 5,0 μC cada unha están situadas nos vértices dun triángulo equilátero de 1,5 m de lado.

a) Onde debe colocarse unha cuarta carga e cal debe ser o seu valor para que o sistema formado polas catro cargas estea en equilibrio?.

b) Calcula o traballo necesario para levar esa carga q desde o centro do triángulo até o centro dun lado.

c) Interpreta fisicamente o significado do signo no traballo.

Dato: K = 9·10⁹ N·m²·C⁻²



a) Por simetría debe estar no centro do triángulo. A carga debe ser negativa para producir unha forza de tipo atractivo que iguale as forzas das outras cargas en cada un dos vértices.

Para que haxa equilibrio debe cumprirse que, nos tres vértices do triángulo:

$$\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{F_2}+\overrightarrow{F_3}=0$$

A forza electrostática entre cada dúas cargas é: $F = K \cdot \frac{q \cdot q}{r^2}$

$$F_1 = F_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{5{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-6}}{1{,}5^2} = 0{,}1\ \mathrm{N}$$

Vectorialmente:

$$\overrightarrow{F_1} = 0{,}1 \cdot \cos 60\, \vec{\imath} + 0{,}1 \cdot \operatorname{sen} 60\, \vec{\jmath}\ \mathrm{N}$$
$$\overrightarrow{F_2} = -0{,}1 \cdot \cos 60\, \vec{\imath} + 0{,}1 \cdot \operatorname{sen} 60\, \vec{\jmath}\ \mathrm{N}$$
$$\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{F_2} = 0{,}17 \vec{\jmath}\ \mathrm{N}$$

Polo tanto a cuarta carga terá que exercer unha forza igual e de sentido oposto á resultante das outras duas:

$$\overrightarrow{F_3} = -0{,}17 \vec{\jmath}\ N$$

de xeito que:

$$-0{,}17 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{5{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot q}{{r_3}^2}$$

Como:

$$r_3 = \frac{0{,}75}{\cos 30} = \boxed{0{,}87\ \mathrm{m}}$$

Substituindo:

$$\boxed{q = -2{,}8 \cdot 10^{-6} \mathrm{C}}$$

b) O traballo realizado pola forza do campo para levar unha carga dende un punto A ata outro B vén definido, nun campo conservativo por:

$$W_{A \to B} = -\Delta E_p = E_{pA} - E_{pB} = q \cdot (V_A - V_B)$$

onde:

$$V = K \cdot \frac{q}{r}$$

Haberá que calcular o valor do potencial para cada un dos puntos debido ás tres cargas:

$$V_A = 9 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{5{,}0 \cdot 10^{-6}}{0{,}87} \cdot 3\right) = 155884\ \mathrm{V}$$

$$V_B = 9 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{5{,}0 \cdot 10^{-6}}{1{,}30}\right) + 9 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{5{,}0 \cdot 10^{-6}}{0{,}75} \cdot 2\right) = 154641\ \mathrm{V}$$

A ddp será:

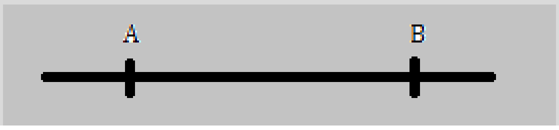
$$V_A - V_B = 1{,}24 \cdot 10^3\ V$$

O valor do traballo realizado é:

$$W_{A \to B} = q \cdot (V_A - V_B) = -2{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}24 \cdot 10^3 = \boxed{-3{,}48 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{J}}$$

c) O signo negativo indica que é un traballo realizado por unha forza exterior, en contra do campo, que provoca un incremento da enerxía potencial do sistema.

4. Dúas cargas de +1 mC e -2 mC están situadas en dous puntos, A e B, separados entre si 1 m, como se indica na figura. Considerando a recta que pasa polas dúas cargas:
a) Analiza cualitativamente en que puntos se podería anular o campo eléctrico.
b) Determina o punto ou puntos nos que se anula o campo eléctrico.
c) Determina o punto ou os puntos nos que se anula o potencial eléctrico.
Dato: K= 9·10⁹ Nm²C⁻²



a) A cargas eléctricas de distinto signo producen campos eléctricos de sentidos contrarios, logo o campo eléctrico nunca poderá ser nulo nun punto intermedio a elas.
Como a intensidade do campo é:

$$\vec{E} = K \cdot \frac{q}{r^2}\overrightarrow{u_r}$$

Para que os dous campos poidan ter o mesmo módulo será preciso que o punto estea máis afastado da carga maior. Xa que logo, o campo eléctrico só poderá anularse á esquerda do punto A.

b) Se chamamos d á distancia do punto onde se anula o campo a A (carga de 1 mC):

$$\frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-3}}{d^2} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-2 \cdot 10^{-3})}{(d+1)^2} = 0$$

Obtemos:

$$\boxed{d = 2{,}41 \text{ m á esquerda de } A}$$

c) Como o potencial é unha magnitude escalar: $V = K \cdot \frac{q}{r}$ só temos unha suma escalar, polo tanto terá que estar máis perto da carga menor, pero pode estar entre elas ou non. Xa que logo, temos dúas posibilidades:

1. A esquerda de A:

$$\frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-3}}{d} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-2 \cdot 10^{-3})}{1+d}$$

de onde: $\boxed{d = 0{,}5 \text{ m}}$

2. No medio delas:

$$\frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-3}}{d} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (-2 \cdot 10^{-3})}{1-d}$$

de onde: $\boxed{d = 0{,}33 \text{ m}}$ á dereita de A

5. Unha carga de 10^{-5} C crea un campo onde metemos outra carga de 10^{-6} C. Calcula:
a) Se o potencial do punto no que se sitúa a carga de 10^{-6}C é de 1500 V, calcula a distancia entrambas cargas.
b) O traballo necesario para que unha toque a outra, se teñen un raio, respectivamente, de 0,1 m e 0,01 m.
c) Interpreta fisicamente o signo do traballo.
Dato: K= 9·10⁹ Nm²C⁻²

a) O potencial creado por unha carga nun punto é: $V = K \cdot \frac{q}{r}$
O potencial que crea a primeira carga no lugar A que se atopa a outra é 1500 V. Así:

$$1500 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-5}}{r}$$

obtemos: $\boxed{r = 60 \text{ m}}$

b) Para que cheguen a tocarse teñen que quedar os centros das cargas a $d = 0{,}1 + 0{,}01 = 0{,}11$ m
Calculando o potencial que crea a esa distancia do seu centro, podemos logo calcular o traballo necesario:

$$V_B = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-5}}{0{,}11} = 8{,}2 \cdot 10^5 \text{ V}$$

E o traballo:

$$W_{A\to B} = q \cdot (V_A - V_B) = 10^{-6} \cdot (1500 - 8{,}2 \cdot 10^5) = \boxed{-0{,}82 \text{ J}}$$

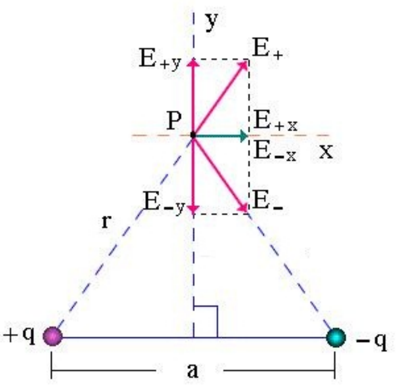
c) O signo negativo significa que ese traballo teñen que realizalo forzas exteriores.

6. Unha molécula de auga compórtase, na práctica, como un dipolo eléctrico. Un dipolo eléctrico está formado por dúas cargas puntuais de 7 μC e -7 μC, distantes entre si 10 cm. Calcula o campo e o potencial eléctrico:

a) Nun punto da mediatriz do segmento que as une, distante 8 cm de cada carga.

b) Nun punto situado na prolongación do segmento que as une e a 3 cm da carga positiva.

Dato: K = 9·10⁹ Nm^2C^{-2}



a) O campo eléctrico en P será:

$$\vec{E}_P = \vec{E}_+ + \vec{E}_- = 2\vec{E}_{+x}$$

pois, como se pode observar no debuxo, as compoñentes do campo no eixo y cancélanse por simetría, ao seren da mesma magnitude e sentidos opostos.

O campo eléctrico producido pola carga positiva en P é:

$$\vec{E}_+ = K\frac{q_+}{{r_+}^2}\vec{u}_+$$

onde:

$\vec{r}_+ = 0{,}05\vec{\imath} + 0{,}063\vec{\jmath}$; o vector unitario será: $\vec{u}_+ = \frac{\vec{r}_+}{|\vec{r}_+|}$.

Así:

$$\vec{E}_P = 2\vec{E}_{+x} = \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 7 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}05}{0{,}08^2 \cdot 0{,}08}\vec{\imath} = \boxed{1{,}2 \cdot 10^7 \vec{\imath}\,\mathrm{N \cdot C^{-1}}}$$

O potencial eléctrico en P será: $V_P = V_+ + V_-$, onde:

$$V_+ = K\frac{q_+}{r_+}$$

Como $V_+ = -V_-$ resulta:

$$\boxed{V_P = 0\ \mathrm{V}}$$

b) O campo eléctrico no novo punto é: $\vec{E}_P = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$

Agora:

$$\vec{E}_+ = K\frac{q_+}{{r_+}^2}\vec{u}_+ = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{7 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2}(-\vec{\imath}) = -7{,}0 \cdot 10^7 \vec{\imath}\frac{N}{C}$$

$$\vec{E}_- = K\frac{q_-}{{r_-}^2}\vec{u}_- = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{-7 \cdot 10^{-6}}{(13 \cdot 10^{-2})^2}(-\vec{\imath}) = 3{,}7 \cdot 10^6 \vec{\imath}\frac{N}{C}$$

Por tanto:

$$\vec{E}_P = \vec{E}_+ + \vec{E}_- = \boxed{-3{,}3 \cdot 10^7 \vec{\imath}\,\mathrm{N \cdot C^{-1}}}$$

O potencial eléctrico en P será: $V_P = V_+ + V_-$, onde:

$$V_+ = k\frac{q_+}{r_+} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{7 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-2}} = 2{,}1 \cdot 10^6\ \mathrm{V}$$

$$V_- = k\frac{q_-}{r_-} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{-7 \cdot 10^{-6}}{13 \cdot 10^{-2}} = -4{,}8 \cdot 10^5\ \mathrm{V}$$

Así:

$$V_P = V_+ + V_- = \boxed{2{,}7 \cdot 10^6\ V}$$

7. Un péndulo electrostático consiste nunha pequena esfera cargada electricamente e pendurada dun fío de material illante. Foi o primeiro aparello utilizado para medir o campo eléctrico. Se a boliña ten unha masa de 1,5 g, ao sometela a un campo eléctrico uniforme e horizontal de 10^3 N·C^{-1}, o fío forma un ángulo de 20° con respecto á súa posición inicial.

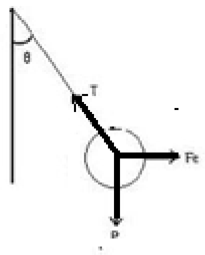
a) Fai un debuxo representando o campo eléctrico e as forzas que actúan sobre a boliña.

b) Determina a carga eléctrica da boliña.

c) Analiza a enerxía do sistema nesa situación final.

Datos: K = 9·10⁹ Nm²C⁻² *; g = 9,8* ms⁻²

a)



b) Se $\vec{E}$ e $\vec{F}_e$ teñen o mesmo sentido, a carga eléctrica será positiva. Se teñen sentido oposto, será negativa.

c) Unha vez alcanzado o equilibrio, a suma das forzas sobre a esfera é cero:

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_e + \vec{P} + \vec{T} = 0$$

Logo da descomposición bidimensional chegamos a:

$$F_e = Tsen\theta$$
$$F_g = Tcos\theta$$
$$tg\theta = \frac{F_e}{F_g} \Rightarrow \mathrm{tg}\,30 = \frac{F_e}{m \cdot g} = \mathrm{tg}\,\theta = \frac{q \cdot E}{m \cdot g}$$

Despexamos a carga e substituimos:

$$q = \frac{\mathrm{tg}\,\theta \cdot m \cdot g}{E} = \frac{\mathrm{tg}\,20° \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}8}{10^3} = \boxed{5{,}4 \cdot 10^{-6}\mathrm{C}}$$

d) A enerxía potencial gravitatoria aumentou a costa da enerxía potencial electrostática.

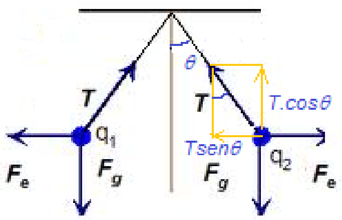
8. Dúas esferas de 5 g atópanse penduradas por dous fíos de 30 cm desde un mesmo punto. Se se lles fornece a ambas as partículas a mesma carga, sepáranse de xeito que os fíos forman entre si un ángulo de 60°.

a) Debuxa nun diagrama as forzas que actúan sobre as partículas.

b) Obtén o valor da carga que se fornece a cada partícula.

Datos: K = 9·10⁹ Nm²C⁻² *; g = 9,8* ms⁻²

a)



b) Unha vez alcanzado o equilibrio, a suma das forzas sobre cada esfera é cero:

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F_g} + \vec{T} = 0$$

O módulo da forza eléctrica que exerce unha esfera sobre a outra é:

$$F_e = K\frac{q^2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{q^2}{(0{,}30)^2}$$

pois: $r = 2 \cdot 0{,}3 \cdot sen\,30 = 0{,}30$ m

Logo da descomposición bidimensional chegamos a:

$$F_e = Tsen\theta$$
$$F_g = Tcos\theta$$
$$tg\theta = \frac{F_e}{F_g} \Rightarrow \tan 30 = \frac{F_e}{m \cdot g}$$

Despexamos a carga e substituimos:

$$q = \sqrt{\frac{\tan 30° \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}8}{10^{11}}} = \boxed{5{,}3 \cdot 10^{-7}\mathrm{C}}$$

9. Dúas cargas negativas iguais, de 1 μ C, atópanse sobre o eixo de abscisas, separadas unha distancia de 20 cm. A unha distancia de 50 cm sobre a vertical que pasa polo punto medio da liña que as une, abandónase unha carga de 1 μC, de masa 1 g, inicialmente en repouso. Determina:

a) A velocidade que terá ao pasar polo punto medio da liña de unión.

b) O valor do potencial eléctrico en dito punto medio.

Dato: $K = 9\cdot 10^{9}\ \mathrm{Nm^2C^{-2}}$

a) As dúas cargas eléctricas negativas crean un potencial no punto onde se atopa a carga positiva, e outro no punto medio da recta que as une, de maneira que o deixar ceibe a carga positiva, esta se moverá adquirindo unha enerxía cinética que será igual o traballo que realizan as cargas negativas para trasladala.
O traballo eléctrico realizado pola forza do campo é: $W_{A\to B} = q\cdot(V_A - V_B)$
Calculamos os potenciais nos puntos inicial e final como a suma alxebraica dos potenciais creados neses puntos por cada unha das cargas negativas:

$$W_{A\to B} = q\cdot(V_A - V_B)$$

$$V_A = V_{1A} + V_{2A} = 9\cdot 10^9\cdot\frac{-10^{-6}}{(0{,}10^2+0{,}50^2)^{1/2}}\cdot 2 = -3{,}5\cdot 10^4\ \mathrm{V}$$

$$V_B = V_{1B} + V_{2B} = 9\cdot 10^9\cdot\frac{-10^{-6}}{0{,}1}\cdot 2 = -1{,}8\cdot 10^5\ \mathrm{V}$$

Substituindo:

$$W_{A\to B} = 10^{-6}\cdot(-3{,}5\cdot 10^4 + 1{,}8\cdot 10^5) = 0{,}145\ \mathrm{J}$$

Como a enerxía cinética é:

$$E_c = \frac{m\cdot v^2}{2} \Rightarrow 0{,}145 = \frac{10^{-3}\cdot v^2}{2}$$

A velocidade será:

$$\boxed{|v| = 17\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}}$$

b) O potencial en B:

$$\boxed{V_B = -1{,}8\cdot 10^5\ \mathrm{V}}$$

10. Dúas cargas puntuais fixas de magnitudes q_1= -40 nC e q_2= 25 nC distan 8 cm. Sobre o segmento que as une, a 2,5 cm da carga positiva, abandónase sen velocidade inicial un protón. Cal será a velocidade do protón cando se atope a 1 cm da carga negativa?

Datos: $q_p=1{,}6\cdot 10^{-19}$ C ; $m_p=1{,}6\cdot 10^{-27}$kg ; qnm=10^{-9}m

Pola conservación da enerxía mecánica:

$$E_{mA} = E_{mB}$$
$$E_{cA} + E_{pA} = E_{cB} + E_{pB}$$

A enerxía cinética inicial é nula. As enerxías potenciais serán:

$$E_{pA} = E_{p1A} + E_{p2A} = \frac{K\cdot q_1\cdot q_p}{r_{1A}} + \frac{K\cdot q_2\cdot q_p}{r_{2A}} = 9\cdot 10^9\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot\left(-\frac{40\cdot 10^{-9}}{5{,}5\cdot 10^{-2}} + \frac{25\cdot 10^{-9}}{2{,}5\cdot 10^{-2}}\right)$$
$$== 3{,}9\cdot 10^{-16}\mathrm{J}$$

$$E_{pB} = E_{p1B} + E_{p2B} = \frac{K\cdot q_1\cdot q_p}{r_{1B}} + \frac{K\cdot q_2\cdot q_p}{r_{2B}} = 9\cdot 10^9\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot\left(-\frac{40\cdot 10^{-9}}{1\cdot 10^{-2}} + \frac{25\cdot 10^{-9}}{7\cdot 10^{-2}}\right) =$$
$$= -5{,}3\cdot 10^{-15}\mathrm{J}$$

A enerxía cinética na posición final será:

$$E_{cB} = E_{pA} - E_{pB} = 3{,}9\cdot 10^{-16} - (-5{,}3\cdot 10^{-15}) = 5{,}6\cdot 10^{-15}\mathrm{J}$$

E a velocidade:

$$|v_B| = \sqrt{\frac{2\cdot E_{cB}}{m_p}} = \sqrt{\frac{2\cdot 5{,}6\cdot 10^{-15}}{1{,}6\cdot 10^{-27}}} = \boxed{2{,}7\cdot 10^6\mathrm{m\cdot s^{-1}}}$$

11. Un electrón-voltio é unha unidade de enerxía igual á enerxía cinética dun electrón que foi acelerado partindo do repouso cunha diferencia de potencial de 1 V.

a) Obtén a equivalencia en unidades do sistema internacional.

b) Cal é a velocidade dun electrón de enerxía cinética 1 eV?

c) Cal é a velocidade dun deuterón de 100 eV.

Datos: $q_e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C ; $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg; $m_p = 1{,}6 \cdot 10^{-27}$ kg. A masa dun deuterón equivale á de dous protóns.

a) A enerxía cinética:

$$E_c = q_e \cdot \Delta V = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 = \boxed{1{,}6 \cdot 10^{-19} \mathrm{J} \cdot \mathrm{eV}^{-1}}$$

b) $E_c = \frac{m_e \cdot v_e{}^2}{2}$, e despexando a velocidade:

$$|v_e| = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}}} = \boxed{5{,}9 \cdot 10^5 \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}}$$

c) $E_c = \frac{m_d \cdot v_d{}^2}{2}$, e despexando a velocidade:

$$|v_d| = \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-27}}} = \boxed{10^5 \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}}$$

12. A radioterapia para o tratamento do cancro baséase nun acelerador lineal (LINAC) que proporciona altas velocidades a electróns. Os aceleradores lineais poden ter lonxitudes desde un metro a varios quilómetros. Nun acelerador de 4 m existe un campo eléctrico uniforme de intensidade *300 N·C⁻¹*.

a) Que enerxía adquire un electrón partindo do repouso ao longo deste percorrido (expresada en eV)?

b) Con que velocidade sairá do acelerador?

Datos: $q_e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg

a) Os electróns saen do ánodo con velocidade nula e chegan ao cátodo, antes de sairen do acelerador, cunha velocidade v_e. Como a enerxía mecánica se conserva:

$$E_m(\acute{a}nodo) = E_m(c\acute{a}todo)$$
$$E_{c-} + E_{p-} = E_{c+} + E_{p+}$$

A enerxía que adquiren grazas ao acelerador lineal será:

$$E_{c+} = q_e \cdot \Delta V = q_e \cdot E \cdot d = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 300 \cdot 4 = 1{,}9 \cdot 10^{-16} \mathrm{J} = \boxed{1200 \text{ eV}}$$

b) $E_{c+} = \frac{m_e \cdot v_e{}^2}{2}$, e despexando a velocidade:

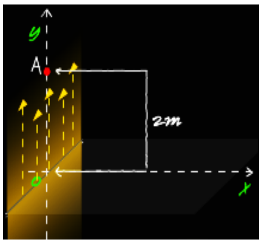
$$|v_e| = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{c+}}{m_e}} = \boxed{2{,}1 \cdot 10^7 \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-1}}$$

13. Unha partícula de 9 μC e 1 g áchase en repouso na orixe de coordenadas. Aplícaselle un campo eléctrico uniforme de 650 $N{\cdot}C^{-1}$ dirixido no sentido positivo do eixo Y.

a) Describe a traxectoria seguida pola partícula até chegar a un punto situado a 2 m do punto de partida. Que aceleración terá?

b) Obtén o traballo realizado polo campo no desprazamento da partícula.

c) Aumenta ou diminúe a enerxía potencial da partícula? En que se transforma esa variación de enerxía?



a) A traxectoria será rectilínea, pois o campo eléctrico exerce sobre a carga positiva unha forza dada por: $\vec{F_e} = q \cdot \vec{E}$. Como o campo eléctrico é uniforme, a forza e xa que logo a aceleración serán constantes: MRUA.

$$\vec{F_e} = q \cdot \vec{E} = m \cdot \vec{a}$$

A aceleración será:

$$\vec{a} = \frac{9 \cdot 10^{-6} \cdot 650}{10^{-3}} \vec{j} = \boxed{5{,}9\vec{j}\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-2}}$$

b) O traballo realizado polo campo é:

$$W_{O\to A} = \vec{F_e} \cdot \Delta\vec{r} = 9 \cdot 10^{-6} \cdot 650 \cdot 2 \cdot \cos 0° = \boxed{1{,}2 \cdot 10^{-2}\mathrm{J}}$$

c) A variación de enerxía potencial: $W_{O\to A} = -\Delta E_p$:

$$\Delta E_p = E_{pA} - E_{pO} = -1{,}2 \cdot 10^{-2}\mathrm{J}$$

A enerxía potencial da partícula diminúe pois o traballo é realizado polo campo eléctrico e a partícula gaña enerxía cinética.

14. Unha partícula alfa ceibase sen velocidade entre as placas dun condensador plano no que existe un campo eléctrico uniforme de $1{,}2{\cdot}10^4$ $\mathrm{V{\cdot}m^{-1}}$.

a) Que lonxitude debe percorrer o núcleo de helio para acadar unha velocidade de de 6 $\mathrm{km{\cdot}s^{-1}}$?

b) Cal será a diferenza de potencial entre os puntos inicial e final?

Datos: $q_\alpha = 2{\cdot}1{,}6{\cdot}10^{-19}$ C; $m_\alpha = 4{\cdot}1{,}6{\cdot}10^{-27}$ kg

a) A traxectoria será rectilínea, pois o campo eléctrico exerce sobre a carga positiva unha forza dada por: $\vec{F_e} = q \cdot \vec{E}$. Como o campo eléctrico é uniforme, a forza e xa que logo a aceleración serán constantes:

$$\vec{F_e} = q \cdot \vec{E} = m \cdot \vec{a}$$

Como a partícula alfa ten carga positiva, a forza e a aceleración terán a mesma dirección e sentido que o campo eléctrico, cun módulo:

$$a = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}2 \cdot 10^4}{4 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-27}} = 6{,}0 \cdot 10^{11}\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-2}$$

Como describe un MRUA:

$${v_\alpha}^2 = 2 \cdot a \cdot d, \text{ despexando:}$$

$$d = \frac{v^2}{2 \cdot a} = \boxed{3 \cdot 10^{-5}\mathrm{m}}$$

b) Pola conservación da enerxía mecánica:

$$E_{m1} = E_{m2}$$

$$E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2}$$

A enerxía que adquiren grazas ao acelerador lineal será:

$$E_{c2} = q \cdot \Delta V$$

A diferenza de potencial será:

$$\Delta V = \frac{E_{c2}}{q} = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot 2q_p} = \frac{4 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-27} \cdot (6 \cdot 10^3)^2}{4 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = \boxed{3{,}6 \cdot 10^{-1}\mathrm{V}}$$

Tamén podería rresolverse empregando a relación entre *ΔV* e campo eléctrico:

$$\Delta V = E \cdot d = 1{,}2 \cdot 10^4 \cdot 3 \cdot 10^{-5} = 3{,}6 \cdot 10^{-1}\mathrm{V}$$

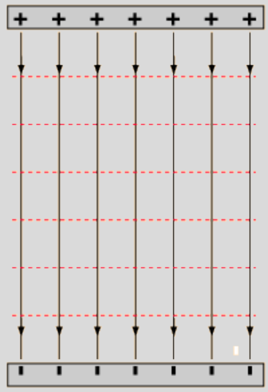
15. Nun tubo dun osciloscopio, un feixe de electróns é desviado da súa traxectoria rectilínea con velocidade constante por campos eléctricos perpendiculares á traxectoria inicial, tal e como se indica no debuxo. Entre as dúas placas do condensador establécese un campo eléctrico uniforme de 400 V·cm^{-1} de intensidade.

a) Cal é a forza eléctrica exercida sobre un electrón cando pasa entre as placas?

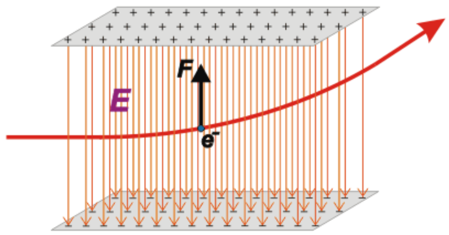
b) A que aceleración se ve sometido o electrón? Que tipo de movemento describe? Como será a traxectoria?

c) Ten importancia o peso do electrón no movemento que describe? Compara ambas as forzas e as aceleracións debidas á interacción eléctrica e á gravitatoria.

Datos: q_e=-1,6·10^{-19} C ; m_e=9,1·10^{-31} kg: g=9,8m·s^{-2}



a) Como o campo eléctrico é uniforme, a forza tamén o será:



$$\vec{F_e} = q_e \cdot \vec{E}$$

Por tanto:

$$\vec{F_e} = -1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot (-4) \cdot 10^4 \vec{\jmath} = \boxed{6{,}4 \cdot 10^{-15} \vec{\jmath}\ \mathrm{N}}$$

b) A aceleración, segundo a 2ª lei de Newton: $\vec{F_e} = m \cdot \vec{a}$

$$\vec{a} = \frac{6{,}4 \cdot 10^{-15}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}} \vec{\jmath} = \boxed{7{,}0 \cdot 10^{15} \vec{\jmath}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}}$$

O electrón vai describir na dirección da súa traxectoria inicial o mesmo MRU que tiña, mentres que en dirección perpendicular a esta estará sometido a unha aceleración constante e terá un MRUA. O movemento resultante será parabólico.

c) Debido a súa masa, a interacción gravitatoria será de intensidade:

$$F_g = m \cdot g = 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 9{,}8 = 8{,}9 \cdot 10^{-30}\ \mathrm{N}$$

e a aceleración será 9,8 m·s^{-2}

Por tanto, para os electróns nun osciloscopio, a interacción gravitatoria ($8{,}9 \cdot 10^{-30}\ N$) é desprezábel fronte á eléctrica ($6{,}4 \cdot 10^{-15}$ N).

16. Un electrón penetra entre as placas do condensador plano da figura cunha velocidade de 1700 km·s^{-1}. Obtén:

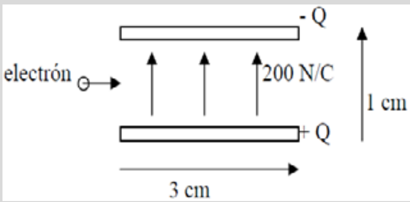
a) A forza eléctrica que actúa sobre o electrón.

b) O tempo que tarda en percorrer as placas.

c) A desviación vertical experimentada ao saír das placas.

d) A velocidade ao saír das placas.

Datos: q_e=-1,6·10^{-19} C ; m_e=9,1·10^{-31} kg



a) Como o campo eléctrico é uniforme, a forza tamén o será:

$$\vec{F_e} = q_e \cdot \vec{E}$$

Por tanto:

$$\vec{F_e} = -1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 200 \vec{\jmath} = \boxed{-3{,}2 \cdot 10^{-17} \vec{\jmath}\ \mathrm{N}}$$

b) O movemento que describe o electrón é unha semiparábola, semellante a un lanzamento horizontal no campo gravitatorio. O tempo que tarda en percorrer as placas só depende da súa velocidade horizontal (MRU), xa que nesta dirección a aceleración é nula:

$$t = \frac{x}{v_x} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{1{,}7 \cdot 10^6} = \boxed{1{,}8 \cdot 10^{-8} \mathrm{s}}$$

c) No eixo vertical describe un MRUA:

$$y = \frac{a \cdot t^2}{2}$$

A aceleración:

$$a = \frac{F_e}{m} = \frac{3{,}2 \cdot 10^{-17}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}} = 3{,}5 \cdot 10^{13} \mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

Substituindo:

$$y = \frac{3{,}5 \cdot 10^{13} \cdot (1{,}8 \cdot 10^{-8})^2}{2} = \boxed{5{,}6 \cdot 10^{-3} \mathrm{m}}$$

d) A velocidade total será:

$$\vec{v} = \overrightarrow{v_x} + \overrightarrow{v_y}$$

onde:

$$v_y = a \cdot t = 3{,}5 \cdot 10^{13} \cdot$$
$$1{,}8 \cdot 10^{-8} = 6{,}3 \cdot 10^5 \frac{m}{s}$$

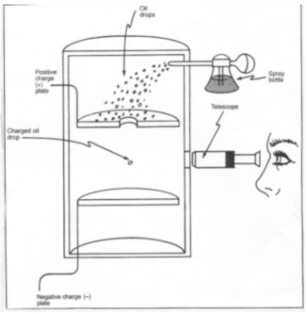
Logo:

$$\boxed{\vec{v} = 1{,}7 \cdot 10^6 \vec{\imath} + 6{,}3 \cdot 10^5 \vec{\jmath} \mathrm{m \cdot s^{-1}}}$$

de módulo:

$$\boxed{v = 1{,}8 \cdot 10^6 \mathrm{m \cdot s^{-1}}}$$

17. O aparello para medir a carga do electrón polo método de Millikan da gota de aceite consta de dúas placas planas paralelas e horizontais separadas 1,5 cm.
a) Se precisamos un campo eléctrico de $6{,}34 \cdot 10^4$ V·m^{-1} para mantela en equilibrio, que diferenza de potencial debemos proporcionar entre as placas?
b) Acha a carga dunha pequena esfera de 1,5 μg que se atopa en equilibrio nunha rexión na que existe un campo eléctrico de $2 \cdot 10^3$ N·C^{-1}.

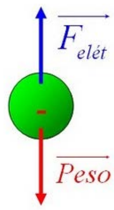


a) Entre as placas dun condensador plano o campo eléctrico é constante.
A ddp necesaria entre as placas depende da separación entre estas:

$$\Delta V = E \cdot d = 6{,}34 \cdot 10^4 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-2} = \boxed{9{,}5 \cdot 10^2 \mathrm{V}}$$

e) No equilibrio:

$$P = F_e$$



Así:

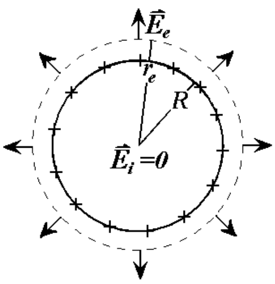
$$m \cdot g = q \cdot E$$

Despexando a carga:

$$q = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-9} \cdot 9{,}8}{2 \cdot 10^3} = 7{,}4 \cdot 10^{-12} C = \boxed{7{,}4\ pC}$$

18. Calcula o campo electrico e o potencial creado por unha bóla maciza condutora de 30 cm de raio que ten unha carga total de $+4{,}3 \cdot 10^{-6}$ C nos seguintes puntos:
a) A 50 cm do centro da esfera.
b) A 20 cm do centro da esfera.
c) Na superficie da esfera.
d) Fai unha representación gráfica do campo eléctrico e mais do potencial en función da distancia ao centro da esfera.

Dato: $k = 9 \cdot 10^9$ Nm^{2}C^{-2}



a) $r > R$:
Segundo a lei de Gauss, o campo eléctrico producido por unha esfera uniformemente cargada nun punto fóra dela é o mesmo que se produciría supoñendo que toda a carga estivese concentrada no seu centro:

$$E = K \frac{q}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4{,}3 \cdot 10^{-6}}{0{,}5^2} = \boxed{1{,}55 \cdot 10^5 \mathrm{N \cdot C^{-1}}}$$

O potencial vén dado por:

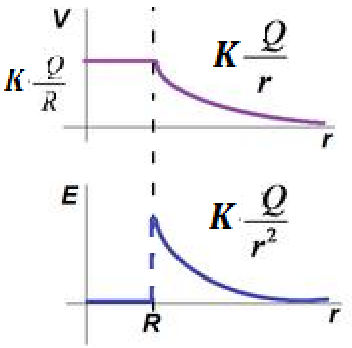
$$V = K \frac{q}{r} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4{,}3 \cdot 10^{-6}}{0{,}5} = \boxed{7{,}74 \cdot 10^4 \mathrm{V}}$$

b) Dentro da esfera, o campo é nulo, pois non hai carga encerrada pola superficie gaussiana. O potencial será constante e igual ao potencial na superficie da esfera condutora::

$$V = K\frac{q}{R} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4{,}3 \cdot 10^{-6}}{0{,}3} = \boxed{1{,}29 \cdot 10^5 \mathrm{V}}$$

c) Para r = R:

$$E = K\frac{q}{R^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4{,}3 \cdot 10^{-6}}{0{,}3^2} = \boxed{4{,}3 \cdot 10^5 \mathrm{N \cdot C^{-1}}}$$



d)

19. Comprobouse que o campo electrico terrestre é perpendicular á superficie da Terra, dirixido cara o centro da Terra e de 110 N·C^{-1}de intensidade. Calcula a densidade superficial de carga da Terra e a súa carga eléctrica total.
Datos: raio da Terra 6370 km, *K= 9·10^9* Nm^{2}C^{-2}

Segundo a lei de Gauss, o campo eléctrico producido por unha esfera uniforme cargada na súa superficie é o mesmo que se produciría supoñendo que toda a carga estivese concentrada no seu centro:

$$E = K\frac{q}{r^2}$$

Despexando a carga:

$$q = \frac{E \cdot r^2}{K} = \frac{110 \cdot (6{,}37 \cdot 10^6)^2}{9 \cdot 10^9} = \boxed{5{,}0 \cdot 10^5 \mathrm{C}}$$

Supoñendo homoxénea a distribución superficial da carga, a densidade será:

$$\sigma = \frac{q}{S} = \frac{5{,}0 \cdot 10^5}{4 \cdot \pi \cdot (6{,}37 \cdot 10^6)^2} = \boxed{9{,}7 \cdot 10^{-10} \mathrm{C \cdot m^{-2}}}$$

20. Nunha treboada de po na superficie de Marte, a nube de partículas ten unha densidade de carga de 10 electróns·cm^{-3}. Calcula:
a) A carga eléctrica total se a nube ten un volume de 100 m^3.
b) O campo eléctrico e o potencial que crea a unha distancia de 5 m do centro da mesma.
Datos: Podemos supoñer a nube esférica. q_e= -1,6·10^{-19} C

a) A densidade volúmica de carga é:

$$\rho = 10 \mathrm{electróns \cdot cm^{-3}} = -1{,}6 \cdot 10^{-12} \mathrm{C \cdot m^{-3}}$$

Se a nube é de 100 m^3 a carga total será:

$$q = \rho \cdot V = \boxed{-1{,}6 \cdot 10^{-10} C}$$

b) O raio da nube vale:

$$V = \frac{4 \cdot \pi \cdot R^3}{3}; \quad R = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 100}{4 \cdot \pi}} = 2{,}9 \text{ m}$$

Xa que logo, o campo eléctrico e o potencial vaise calcular para *r* > *R*. Así os módulos serán:

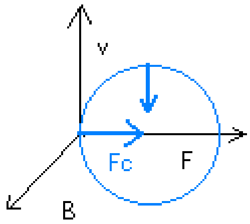
$$E = K\frac{q}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1{,}6 \cdot 10^{-10}}{5^2} = \boxed{5{,}8 \cdot 10^{-2} \mathrm{N \cdot C^{-1}}}$$

$$V = K\frac{q}{r} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1{,}6 \cdot 10^{-10}}{5} = \boxed{0{,}29 \text{ V}}$$

21. Un protón ten unha enerxía cinética de 10^{-14} J. Segue unha traxectoria circular nun campo magnético B= 0,5 T.

a) Como debe ser a dirección do protón con respecto ao campo magnético? Por que?
b) Calcula o raio da traxectoria.
c) Obtén a frecuencia coa que xira.

Datos: $m_p = 1{,}67\cdot10^{-27}$ kg; $q_p = 1{,}6\cdot10^{-19}$ C



a) Se describe unha traxectoria circular, a partícula partícula terá que penetrar perpendicularmente a un campo magnético, pois segundo a Lei de Lorentz:

$$\vec{F}_m = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

Onde a forza magnética (Lei de Lorentz) será a forza centrípeta que producirá o movemento circular.

b) Dado que a velocidade e o campo magnético son perpendiculares, o módulo da forza será:

$$F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \operatorname{sen} \alpha$$

Pola 2ª lei de Newton:

$$F = F_c = m \cdot a_c = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Igualando obtemos o raio da circunferencia que describe o protón:

$$r = \frac{m_e \cdot v}{q \cdot B}$$

O módulo da velocidade non varía. Do valor da enerxía cinética:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Substituindo obtemos:

$$v = 3{,}5 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^1$$

Finalmente:

$$\boxed{r = 7{,}3 \cdot 10^{-2}\, m}$$

c) Aplicando as ecuacións propias do movemento circular poderemos calcular a frecuencia coa que xira:

$$v = \omega \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot f$$

$$\boxed{f = 7{,}6 \cdot 10^6 \text{ Hz}}$$

22. Un electrón penetra perpendicularmente nun campo magnético de 0,5 T cunha velocidade de 2000 $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$.

a) Calcula o radio da órbita que describe.
b) Acha o número de voltas que dá en 0,01 s.
c) Calcula a intensidade dun campo eléctrico que anule o efecto do campo magnético.

Datos : $q_e= 1{,}6\cdot10^{-19}$ C, $m_e= 9{,}1\cdot10^{-31}$ kg

a) A forza magnética que actúa sobre o electrón:

$$\vec{F}_m = q_e \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

O electrón describirá un movemento circular no cal a forza centrípeta é a magnética, cun raio:

$$r = \frac{m_e \cdot v}{q_e \cdot B}$$

Substituindo:

$$\boxed{r = 2{,}3 \cdot 10^{-5} \text{ m}}$$

b) O espazo que percorrerá nese tempo será:

$$s = v \cdot t = 2 \cdot 10^4 \text{ m}$$

dividindo pola lonxitude da circunferencia obteremos o número de voltas

$$n = \frac{s}{2 \cdot \pi \cdot r} = \boxed{1{,}4 \cdot 10^8 \text{ voltas}}$$

c) Anulárense os efectos dos campos quere dicir que a forza producida polo campo eléctrico debe ser de igual módulo e dirección pero de sentido oposto á producida polo campo magnético:

$$\vec{F}_m + \vec{F}_e = 0$$

Así, en módulo:

$$q_e \cdot v \cdot B = q_e \cdot E$$

Despexando:

$$E = v \cdot B = 2 \cdot 10^6 \cdot 0{,}5 = \boxed{1{,}5 \ \cdot 10^6 \ \mathrm{N{\cdot}C^{-1}}}$$

23. Nunha rexión do espazo na que existe un campo eléctrico de 100 $N{\cdot}C^{-1}$ e un campo magnético de 10^{-3} T, perpendiculares entre si, penetran un protón e un electrón con velocidades perpendiculares a ambos os campos.

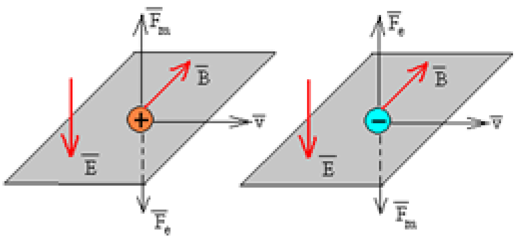
a) Debuxa nun esquema os vectores velocidade, campo eléctrico e campo magnético no caso de que as partículas non se desvíen.

b) Que velocidade deben ter o protón e o electrón para pasaren sen desviarse?

c) Que enerxía cinética deberían ter nesas condicións?

Datos: $q_e = -1.6{\cdot}10^{-19}$ C, $m_e = 9{,}1{\cdot}10^{-31}$ kg, $m_p = 1{,}6{\cdot}10^{-27}$ kg

a)



b) A forza exercida polo campo eléctrico é: $F_e = q \cdot E$

A forza exercida polo campo magnético: $F_m = q \cdot v \times B$

A condición para que as partículas cargadas pasen sen desviarse é: $F_e + F_m = 0$

E por tanto, a velocidade de ambas as partículas debe ter por módulo:

$$v = \frac{E}{B} = \frac{100}{10^{-3}} = 10^5 \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

c) As enerxías cinéticas serán:

$$E_c(protón) = \frac{m_p \cdot v^2}{2} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-27} \cdot (10^5)^2}{2} = \boxed{8{,}0 \cdot 10^{-18} \mathrm{J}}$$

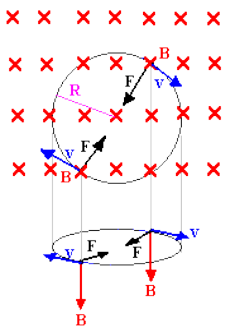
$$E_c(elect) = \frac{m_e \cdot v^2}{2} = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot (10^5)^2}{2} = \boxed{4{,}6 \cdot 10^{-21} \mathrm{J}}$$

24. Un electrón con 1 eV de enerxía cinética describe un movemento circular uniforme nun plano perpendicular a un campo magnético de 10^{-4} T.

a) Explica, con axuda dun debuxo, as posíbeis direccións e sentidos da forza, velocidade e campo magnético implicados.

b) Calcula o raio da traxectoria.

Datos: $q_e = -1.6{\cdot}10^{-19}$ C, $m_e = 9{,}1{\cdot}10^{-31}$ kg



a) A forza exercida polo campo magnético: $\vec{F}_m = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$

Para que a traxectoria sexa circular, a velocidade e o campo magnético deben ser perpendiculares entre si. O sentido de xiro dependerá do sentido do campo magnético con respecto á dirección do electrón, segundo se pode observar na figura.

b) A forza exercida polo campo magnético será a forza centrípeta necesaria para que o electrón describa a circunferencia. O raio da traxectoria será:

$$r = \frac{m_e \cdot v}{q \cdot B}$$

Obtemos a velocidade da enerxía cinética:

$$E_c = \frac{m_e \cdot v^2}{2}; \quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_c}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}}} = 5{,}9 \cdot 10^5 \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Substituindo:

$$r = \frac{m_e \cdot v}{q \cdot B} = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 5{,}9 \cdot 10^5}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-4}} = \boxed{3{,}4 \cdot 10^{-2} \mathrm{m}}$$

25. No interior dun tubo de TV, un electrón do feixe é acelerado por unha diferencia de potencial de $2 \cdot 10^4$ V. A continuación atravesa unha rexión na que hai un campo magnético transversal que o obriga a describir un arco de 12 cm de raio. Cal é o valor do campo magnético?

Datos: $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19}$ C, $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg

Na primeira parte do tubo, o electrón parte do repouso e é sometido a un campo eléctrico. A enerxía mecánica consérvase, de xeito que a enerxía cinética á saída é igual á variación na súa enerxía potencial:

$$E_c = \Delta E_p; \quad \frac{m_e \cdot {v_e}^2}{2} = q \cdot \Delta V$$

Sae cunha velocidade:

$$v_e = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot \Delta V}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^4}{9{,}1 \cdot 10^{-31}}} = 8{,}4 \cdot 10^7 \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Esta velocidade é coa que entra perpendicularmente ao campo magnético na segunda parte do tubo, onde se produce un movemento circular uniforme.

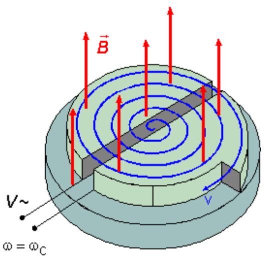
Substituindo e despexando, obtemos o valor de B:

$$r = \frac{m_e \cdot v_e}{q \cdot B}; \quad B = \frac{m_e \cdot v_e}{q \cdot r} = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 8{,}4 \cdot 10^7}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-1}} = \boxed{4{,}0 \cdot 10^{-3} \mathrm{T}}$$

26. Un ciclotrón para acelerar protóns ten un campo magnético de intensidade 0,4 teslas, e o seu radio é 0,8 m.

a) Fai un esquema do ciclotrón e describe como funciona.
b) Calcula a velocidade coa que saen os protóns do ciclotrón.
c) Que voltaxe faría falta para que os protóns adquirisen esa velocidade partindo do repouso?

Datos: $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg; $q_p = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C



a) Un ciclotrón é un acelerador de partículas que se basea en que a velocidade angular dunha partícula cargada no interior dun campo magnético uniforme é independiente do raio e da velocidade lineal:

$$\omega_c = \frac{q \cdot B}{m}$$

Así, ao introducir as partículas cargadas nun dispositivo con forma de "D" e seren aceleradas cunha voltaxe alterna de frecuencia exactamente igual a ω_c, ao completaren media volta, a "D" contraria cambia de polaridade dándolles un novo "empurrón" e comunicándolles unha enerxía $q \cdot \Delta V$. A velocidade das partículas crece deste xeito adquirindo un valor final igual a:

$$v_{saída} = \frac{q \cdot B \cdot r}{m}$$

b) Da expresión anterior:

$$\boxed{v_{saída} = 3 \cdot 10^7 \mathrm{m \cdot s^{-1}}}$$

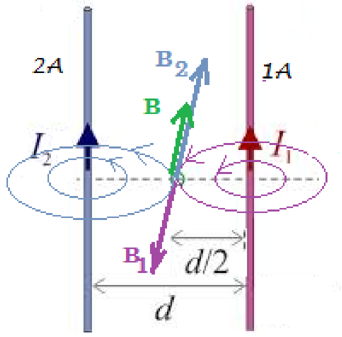
c) A enerxía cinética sería igual ao traballo eléctrico realizado:

$$E_c = \Delta E_p; \quad \frac{m \cdot v^2}{2} = q \cdot \Delta V$$

Despexando:

$$\boxed{\Delta V = 4{,}7 \cdot 10^6 \text{ V}}$$

27. Sexan dous fíos metálicos moi longos, rectilíneos e paralelos, separadas por unha distancia de 10 cm e polos que circulan senllas correntes de intensidades 1 A e 2 A no mesmo sentido.
a) Debuxa o campo magnético resultante no punto medio da liña que une ambos os condutores e calcula o seu valor.
b) Na rexión entre os condutores, a que distancia do primeiro fío é cero o campo magnético?
c) Acha a forza magnética por unidade de lonxitude que se exerce sobre a corrente de 2A.
Dato: $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ *(SI)*

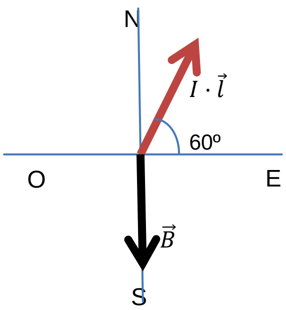


a) Os campos magnéticos creados por cada corrente serán opostos e de dirección perpendicular ao plano formado polas correntes.
Terán como módulo:
$$B = \frac{\mu_o \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a}$$
Como teñen a mesma dirección e sentidos opostos, a intensidade total resultante será a resta dos módulos:
$$B = B_2 - B_1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2}{2 \cdot \pi \cdot 0{,}05} - \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1}{2 \cdot \pi \cdot 0{,}05} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot \pi \cdot 0{,}05} = \boxed{4 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{T}}$$

b) Para que o campo magnético sexa cero:
$$B_2 = B_1$$
$$\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2}{2 \cdot \pi \cdot a} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1}{2 \cdot \pi \cdot (0{,}1 - a)}$$
despexando resulta:
$$a = 0{,}033\ m = \boxed{3{,}3\ \mathrm{cm}}$$

c) A forza que exerce un campo magnético sobre unha corrente rectilínea é:
$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} x \vec{B}$$
Se o campo é producido por unha corrente paralela, o módulo da forza por unidade de lonxitude será:
$$\frac{F_{12}}{l} = \frac{\mu_o \cdot I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot a} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 2}{2 \cdot \pi \cdot 0{,}1} = \boxed{4 \cdot 10^{-6}\ \mathrm{N \cdot m^{-1}}}$$

28. A Terra exerce un campo magnético de intensidade $0{,}5 \cdot 10^{-4}$ T. Un anaco de arame de alta tensión, en dirección suroeste-nordeste e formando un ángulo de 60° co ecuador, espállase entre dúas torres separadas 150 m e transporta unha corrente de 1 kA.
a) Calcula a forza á que se ve sometido. Inflúe no resultado o sentido no que circula a corrente?
b) Hai algunha posibilidade de que o arame de alta tensión non sufra o efecto do campo magnético terrestre?
Nota: Supón que o campo magnético está dirixido de norte a sur.

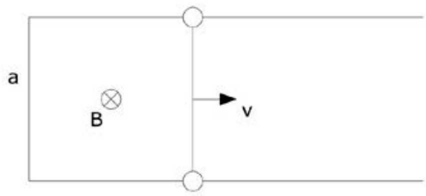


a) A forza que exerce un campo magnético sobre unha corrente rectilínea é:
$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} x \vec{B}$$
O módulo da forza será:
$$F = I \cdot l \cdot B \cdot \mathrm{sen}\,\theta = 10^3 \cdot 150 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot \mathrm{sen}(90° + 60°) = \boxed{3{,}75\ \mathrm{N}}$$

A dirección da forza será perpendicular ao plano que forman a liña de corrente e o campo magnético terrestre. Será por tanto normal á superficie da Terra e cara o ceo.

b) Se as torres puidesen estar aliñadas coa dirección do campo magnético, a forza sería nula. Por tanto dirección norte-sur, independentemente do sentido da corrente.

29. A espira rectangular da figura ten un lado móbil de lonxitude 15 cm. Está situada nun campo magnético uniforme de 0,5 T, perpendicular ao plano da espira e dirixido cara adentro do papel. Se o lado móbil se despraza cunha velocidade constante de 2 m/s, cal será a forza electromotriz inducida na espira?



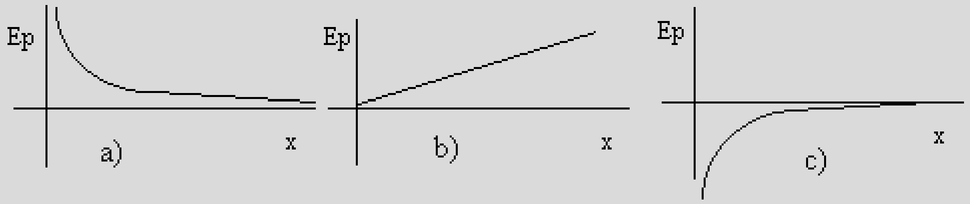
Segundo a lei de Faraday-Lenz, a fem inducida será:

$$\varepsilon = -\frac{d\emptyset}{dt} = -\frac{d(B \cdot S)}{dt} = -\frac{d(B \cdot v \cdot t \cdot l)}{dt} = -B \cdot v \cdot l = -0{,}5 \cdot 2 \cdot 0{,}15 = \boxed{-0{,}15\ \mathrm{V}}$$

O signo negativo indica que a corrente inducida debe dar lugar a un campo magnético que se opoña ao aumento de fluxo que se produce na espira. O campo magnético debe ser saíndo do plano da espira, polo que o sentido da corrente inducida será antihorario.

ELECTROMAGNETISMO. CUESTIÓNS

1. Que gráfica representa correctamente a enerxía potencial eléctrica dunha carga puntual negativa situada nun campo creado por unha carga puntual positiva, cando varía a distancia que as separa?



SOL.: **c**

Trátase dunha situación de tipo atractivo. Tendo en conta a ecuación que representa a enerxía potencial:

$$E_p = K\frac{q_+ \cdot q_-}{x}$$

Resulta unha función na que a enerxía potencial varía de forma inversamente proporcional coa distancia, pero con carácter negativo. A enerxía potencial representa o traballo realizado por unha forza exterior para achegar unha carga dende o infinito (valor 0 de E_p) até un punto do campo. A medida que a distancia diminue, a enerxía potencial é cada vez menor.

2. Unha carga eléctrica positiva áchase baixo a acción dun campo eléctrico uniforme. A súa enerxía potencial aumenta:

a) Se a carga se despraza na mesma dirección e sentido que o campo eléctrico.
b) Se a carga se despraza na mesma dirección e sentido oposto ao campo eléctrico.
c) Se a carga se despraza perpendicularmente ao campo eléctrico.

SOL.: **b**

Para que a enerxía potencial da carga aumente ao desprazarse cómpre que o traballo realizado polo campo sexa negativo, pois:

$$W_{A\to B} = -\Delta E_p$$

Isto só é posíbel se a carga positiva se move paralelamente ao campo eléctrico pero en sentido oposto a este, pois ao ser o campo eléctrico uniforme:

$$W_{A\to B} = \int_A^B \vec{F}\cdot d\vec{r} = q\vec{E}\cdot\Delta\vec{r}$$

3. Unha partícula cargada móvese espontaneamente cara puntos nos que o potencial electrostático aumenta. O signo da carga eléctrica será:

a) Positivo; b) Negativo; c) Non se pode saber.

SOL.: **b**

Tendo en conta o principio de conservación da enerxía mecánica, a enerxía cinética da partícula vai aumentar segundo diminúa a enerxía potencial, pois a suma de ambas as enerxías debe ficar constante. Como:

$$\Delta E_p = q\cdot\Delta V$$

Para que $\Delta E_p < 0$ cómpre que a carga sexa negativa para que se mova espontaneamente cara valores crecentes do potencial.

4. No mes de abril de 2010 producíronse treboadas magnéticas causadas pola chegada á atmosfera dun vento solar de protóns a 500 km·s^{-1}. Cal foi a enerxía en electrón-volt de cada un destes protóns ao chegaren a atmosfera?

Datos: $q_p=1{,}6\cdot10^{-19}$ C ; $m_p=1{,}67\cdot10^{-27}$ kg

a) $2{,}09\cdot10^{-16}$ eV; b) $3{,}34\cdot10^{-35}$ eV; c) $1{,}3\cdot10^{3}$ eV.

SOL.: **c**

A velocidade coa que chegan failles adquirir unha enerxía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}1{,}67\cdot 10^{-27}(500\cdot 10^3)^2 = 2{,}09\cdot 10^{-16}\text{ J}$$

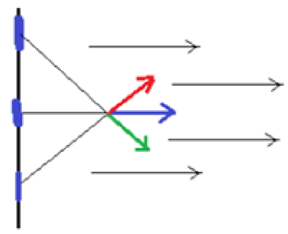
Como 1 eV equivale á enerxía necesaria para que un electrón (igual carga que o protón) percorra un campo eléctrico cunha ddp de 1 V:

$$E_c == 2{,}09\cdot 10^{-16}\,J\,\frac{1\,eV}{1{,}6\cdot 10^{-19}\,J} = 1305\text{ eV}$$

5. As liñas de campo eléctrico producido por un fío rectilíneo infinito e uniformemente cargado:

a) Son circunferencias concéntricas co fío.
b) Son liñas rectas paralelas ao fío.
c) Son liñas rectas perpendiculares ao fío.

SOL.: **a**



En cada punto o campo eléctrico sería perpendicular ao arame, pois cada elemento de fío xera en cada punto un campo cunha compoñente paralela ao arame que se anulan entre si cos outros elementos próximos.

Só as compoñentes perpendiculares do campo se suman entre si, dando pois liñas de campo perpendiculares ao fío.

6. Que conclusións se poden sacar do feito de que o fluxo neto a través dunha superficie gaussiana sexa cero?

a) O campo eléctrico é cero en culquera punto da superficie.
b) Non hai cargas eléctricas no interior.
c) A suma alxebraica das cargas (carga neta) no interior é cero.

SOL.: **c**

A partir do teorema de Gauss, o fluxo neto implica o fluxo de entrada e o fluxo de saída, de aí que se o fluxo é 0, non deba haber carga neta no interior da superficie.

7. Unha esfera conductora de radio R e carga de Q Culombios en equilibrio electrostático:

a) O potencial exterior é nulo e o interior constante.
b) O campo exterior e función inversa do cadrado da distancia e o interior nulo.
c) O potencial exterior é constante e o interior nulo.

SOL.: **b**

Aplicando o teorema de Gauss obténse o campo exterior e interior:

$$\overrightarrow{E_{ext}} = K\frac{q}{r^2}\overrightarrow{u_r}$$
$$\overrightarrow{E_{int}} = 0$$

A partir do campo obtense o potencial como función inversa da distancia no exterior e constante (e igual o da superficie) no interior:

$$W_{A\to B} = \int_A^B \vec{F}\cdot d\vec{r} = q\vec{E}\cdot\Delta\vec{r} \Rightarrow W_{A\to B} = -\Delta E_p = -q\Delta V$$

8. No interior dun conductor cargado, en xeral:

a) O potencial non é nulo.
b) A carga non é nula.
c) O campo non é nulo.

SOL.: **a**

No interior dun conductor cargado o potencial non é nulo, pois para levar carga até o seu interior necesitamos que se realice un traballo. En casos particulares, o potencial pode ser nulo, pero en cambio, se a carga non fose nula, afastaríase até a superficie (o que ocorre normalmente) deixando no interior un campo nulo.

9. Un positrón de carga 1,6·10^{-19} C entra nun campo magnético $\vec{B} = 0{,}1\vec{j}(T)$. Se a velocidade do positrón é $\vec{v} = 10^5\vec{i}(\mathrm{m \cdot s^{-1}})$, entón a forza que sofre, en newton, é:

a) $1{,}6 \cdot 10^{-15}\vec{i}$
b) $1{,}6 \cdot 10^{-15}\vec{j}$
c) $1{,}6 \cdot 10^{-15}\vec{k}$

SOL.: **c**

A partir da aplicación da lei de Lorentz:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Como resultado de aplicar o produto vectorial entre os vectores $\vec{v}$ e $\vec{B}$ obténse que a forza magnética resultante debe ser $1{,}6 \cdot 10^{-15}\vec{k}$

10. Cando unha partícula cargada se move dentro dun campo magnético, a forza magnética que actúa sobre ela realiza un traballo que sempre é:

a) Positivo, se a carga é positiva.
b) Positivo, sexa como sexa a carga.
c) Cero.

SOL.: **c**

Unha partícula cargada en movemento dentro dun campo magnético está sometida a acción dunha forza magnética, que segundo a lei de Lorentz: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$, resultará perpendicular ao campo e á velocidade da partícula. Por isto o traballo realizado

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

será nulo, pois $\vec{F}$ e $d\vec{r}$ son dous vectores perpendiculares, sendo $d\vec{r} = \vec{v} \cdot dt$, e polo tanto coa mesma dirección e sentido que $\vec{v}$.

11. Para que unha carga eléctrica non se desvíe ao pasar por unha zona de campo magnético non nulo, as liñas de campo han ser:

a) Perpendiculares ao desprazamento da carga.
b) Paralelas ó desprazamento da carga.
c) De calquera xeito que sexan, a carga desvíase sempre.

SOL.: **b**

A forza que sofre unha carga en movemento no seo dun campo magnético vén dada polo produto vectorial$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$: , polo que, en caso de haber movemento dunha carga nun campo magnético a forma de que dita forza sexa nula é que a velocidade e o campo sexan paralelos.

12. Nunha habitación existe un campo magnético que apunta verticalmente para abaixo. De pronto lánzanse dous electróns, dende o mesmo punto, coa mesma velocidade en dirección perpendicular ao campo, pero en sentidos contrarios. Como se moverán?

a) En círculos tanxentes e sentido horario.

b) No mesmo círculo.

c) En círculos tanxentes e sentido antihorario.

SOL.: **a**

De acordo coa lei de Lorentz : $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$, que vai orixinar un movemento circular no electrón (carga q negativa), resultará:

$$\vec{F} = -e\vec{v} \times \vec{B}$$

Móvense en sentido horario describindo círculos tanxentes.

13. Se nunha rexión do espacio temos un electrón movéndose en liña recta a velocidade constante, podemos detelo se o sometemos a:

a) Un campo eléctrico de dirección paralela ao movemento.

b) Un campo magnético de dirección paralela ao movemento.

c) Un campo magnético de dirección perpendicular ao movemento.

SOL.: **a**

A forza que experimenta unha carga eléctrica situada nunha rexión na que existe un campo eléctrico vén dada por:

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

Se o campo eléctrico ten a mesma dirección que o movemento da carga e o mesmo sentido, como o electrón ten carga negativa, a aceleración tamén será negativa.

Se temos un campo magnético, a forza vén dada por: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$, que nunca vai modificar o módulo da velocidade do electrón.

14. Explica en que dirección debes colocar na superficie da Terra un arame recto polo que circula unha corrente eléctrica para que a forza exercida sobre el polo campo magnético terrestre sexa máxima:

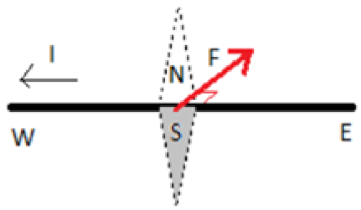
a) Norte-Sur.

b) Leste-Oeste.

c) Outras.

Nota.- Considérese que as liñas do campo magnético terrestre seguen de xeito aproximado a dirección Norte-Sur

SOL.: **b**



Tendo en conta a Lei de Lorentz: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$

Para que a forza sobre as cargas sexa máxima, o campo magnético debe ser perpendicular á velocidade das mesmas, isto é, ao fío condutor.

15. Un condutor rectilíneo leva unha corrente de 1 A. Produce un campo magnético máis intenso:

a) Canto máis groso sexa o conductor.

b) Canto maior sexa a velocidade de cada electrón individual.

c) Canto máis próximo estea ao punto exterior.

SOL.: **c**

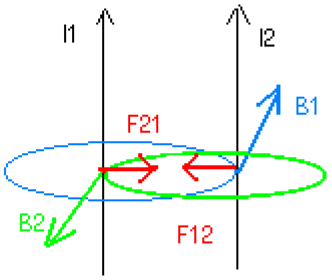
Tendo en conta que o campo magnético producido por un condutor rectilíneo vén dado por:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

canto menor sexa r, maior será o campo magnético.

16. Por dous condutores paralelos e próximos entre si circulan correntes eléctricas do mesmo sentido. Que lle ocorrerá aos condutores?
a) Atráense.
b) Repélense.
c) Non exercen forzas mútuas se as correntes son da mesma magnitude.

SOL.: **a**



A partir da aplicación da 2ª lei de Laplace:

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$$

e da lei de Biot-Savart:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

poderemos coñecer as características das forzas debidas á acción mútua entre correntes:

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

A partir da aplicación dos correspondentes productos vectoriais de $\vec{l} \times \vec{B}$, obténse unha acción mútua de tipo atractivo entre correntes do mesmo sentido.

17. Se se move unha espira paralelamente ao seu eixo na mesma dirección dun campo magnético uniforme:
a) Prodúcese corrente inducida ao comezar o movemento.
b) Non se produce ningunha corrente inducida.
c) Aparece unha corrente inducida no sentido antihorario.

SOL.: **b**

A aparición dunha corrrente inducida, de acordo coa lei de Lenz implica a existencia dun fluxo magnético variable, algo que non ocorre se a espira non modifica a súa dirección de movemento no seo do campo magnético:

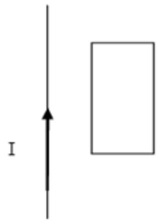
$$\varepsilon = -\frac{d\emptyset}{dt} = -\frac{d(\vec{B} \cdot \vec{S})}{dt}$$

18. O coeficiente de autoindución dunha bobina toroidal é a relación:
a) Entre o fluxo e a intensidade.
b) Entre a intensidade e o campo magnético.
c) Entre o campo eléctrico e o campo magnético.

SOL.: **a**

O coeficiente de autoindución dunha bobina é unha característica xeométrica que se pode obter como relación entre o fluxo e a intensidade, e mídese en henrios.

19. Polo fío condutor da figura circula unha corrente contínua no sentido indicado. Inducirase unha corrente na espira rectangular se:
a) A espira se move cara a dereita.
b) A espira se move cara arriba paralelamente ao fío.
c) A espira non se move.



SOL.: **a**

A aparición dunha corrrente inducida, de acordo coa lei de Lenz implica a existencia dun fluxo magnético variable:

$$\varepsilon = -\frac{d\emptyset}{dt} = -\frac{d(\vec{B} \cdot \vec{S})}{dt}$$

Como o campo magnético producido por un condutor rectilíneo vén dado por:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

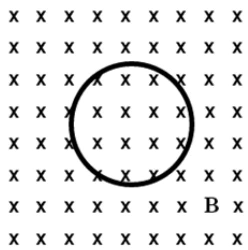
as liñas de campo que atravesan a espira perpendicularmente diminuirán se esta se move cara a dereita, afastándose do fío, dando lugar á corrente inducida.

20. A espira circular da figura está situada no seo dun campo magnético uniforme entrante no plano do papel. Inducirase unha forza electromtriz se:

a) A espira se move cara a dereita.

b) A espira se move na dirección do campo magnético.

c) O valor do campo magnético aumenta linealmente co tempo.



SOL.: **c**

A aparición dunha corrrente inducida, de acordo coa lei de Lenz implica a existencia dun fluxo magnético variable:

$$\varepsilon = -\frac{d\emptyset}{dt} = -\frac{d(\vec{B} \cdot \vec{S})}{dt}$$

Se o campo magnético varía co tempo, aparecerá unha f.e.m. inducida.

21. Unha espira colócase perpendicularmente a un campo magnético uniforme. En que caso será maior a f.e.m. inducida pola espira?

a) Se o campo magnético diminúe linealmente de 300 mT a 0 en 1 ms.

b) Se o campo magnético aumenta linealmente de 1 T a 1,2 T en 1 ms.

c) Se o campo magnético permanece constante cun valor de 1,5 T.

SOL.: **a**

A aparición dunha corrrente inducida, de acordo coa lei de Lenz implica a existencia dun fluxo magnético variable:

$$\varepsilon = -\frac{d\emptyset}{dt} = -\frac{d(\vec{B} \cdot \vec{S})}{dt}$$

Como o campo magnético producido por un condutor rectilíneo vén dado por:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

as liñas de campo que atravesan a espira perpendicularmente diminuirán se esta se move cara a dereita, afastándose do fío, dando lugar á corrente inducida.