Campo magnético

Método e recomendacións

◊ PROBLEMAS

● Partículas

1. Un protón cunha enerxía cinética de $4{,}0\cdot10^{-15}$ J penetra perpendicularmente nun campo magnético uniforme de 40 mT. Calcula:
   a) O módulo da forza á que está sometido o protón dentro do campo.
   b) O tipo de movemento realizado polo protón, a traxectoria que describe e o raio desta.
   Datos: q_p = $1{,}6\cdot10^{-19}$ C; m_p = $1{,}67\cdot10^{-27}$ kg. *(A.B.A.U. extr. 22)*
   Rta.: a) F_B = $1{,}4\cdot10^{-14}$ N; b) R = 0,57 m.

Datos	**_Cifras significativas: 2_**
Enerxía cinética do protón	$E_c = 4{,}0\cdot10^{-15}$ J
Valor da intensidade do campo magnético	B = 40 mT = 0,040 T
Ángulo entre a velocidade do protón e o campo	$\varphi = 90°$
Carga do protón	$q = 1{,}6\cdot10^{-19}$ C
Masa do protón	$m = 1{,}67\cdot10^{-27}$ kg
Incógnitas	
Módulo da forza á que está sometido o protón dentro do campo	F_B
Radio da traxectoria	R
Ecuacións	
Lei de Lorentz: forza magnética sobre unha carga, q, que se despraza polo interior dun campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, cunha velocidade, $\overline{\boldsymbol{v}}$	$\overline{\boldsymbol{F}}_B = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$
Aceleración normal (nun movemento circular de raio R)	$a_N = \dfrac{v^2}{R}$
2.ª lei de Newton da Dinámica	$\Sigma\overline{\boldsymbol{F}} = m \cdot \overline{\boldsymbol{a}}$
Velocidade nun movemento circular uniforme de raio R	$v = \dfrac{2\pi\cdot R}{T}$

Solución:

a) A velocidade do protón calcúlase a partir da enerxía cinética:

$$E_c = ½\, m \cdot v^2 \Rightarrow 4{,}0\cdot10^{-15}\ [\text{J}] = (1{,}67\cdot10^{-27}\ [\text{kg}] / 2) \cdot v^2$$

$$v=\sqrt{\frac{2\cdot 4{,}0\cdot 10^{-15}[\text{J}]}{1{,}67\cdot 10^{-27}[\text{kg}]}}=2{,}2\cdot 10^{6}\ \text{m/s}$$

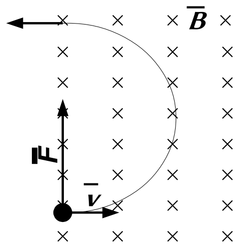
A forza magnética calcúlase pola lei de Lorentz:

$$\overline{\boldsymbol{F}}_B = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$$

En módulos:

$$F_B = |\,\overline{\boldsymbol{F}}_B\,| = q \cdot |\,\overline{\boldsymbol{v}}\,| \cdot |\,\overline{\boldsymbol{B}}\,| \cdot \text{sen } 90° = 1{,}6\cdot10^{-19}\ [\text{C}] \cdot 2{,}2\cdot10^{6}\ [\text{m/s}] \cdot 0{,}040\ [\text{T}] = 1{,}4\cdot10^{-14}\ \text{N}$$

b) Como só actúa a forza magnética, que é perpendicular á velocidade, o protón describe unha traxectoria circular con velocidade de valor constante, polo que a aceleración só ten compoñente normal a_N.



$$F_B = m\cdot a = m\cdot a_N = m\frac{v^2}{R}$$

Usando a expresión da lei de Lorentz (en módulos) para a forza magnética:

$$|q| \cdot B \cdot v \cdot \operatorname{sen} \varphi = m \frac{v^2}{R}$$

Despexando o raio, R:

$$R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B \cdot \operatorname{sen} \varphi} = \frac{1{,}67 \cdot 10^{-27}\,[\mathrm{kg}] \cdot 2{,}2 \cdot 10^{6}\,[\mathrm{m/s}]}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,[\mathrm{C}] \cdot 0{,}040\,[\mathrm{T}] \cdot \operatorname{sen} 90^\circ} = 0{,}57\ \mathrm{m}$$

Análise: Se o protón entra nun campo magnético, ao describir media circunferencia sairá del, polo que en realidade só daría media volta e sairía a unha distancia de 2 R = 1,0 m *do punto de entrada, na mesma dirección coa que entrou, pero en sentido oposto.*

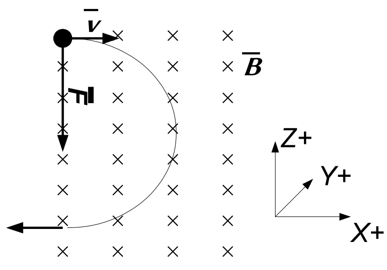
1. Unha partícula de masa 8 ng e carga eléctrica −2 μC entra nunha rexión do espazo na que hai un campo magnético $\overline{\boldsymbol{B}}$ = 3 $\overline{\mathbf{j}}$ T, cunha velocidade, $\overline{\boldsymbol{v}}$ = 6 $\overline{\mathbf{i}}$ km·s⁻¹. Calcula:
   a) A velocidade angular con que se move.
   b) A intensidade de campo eléctrico (vector) que se debe aplicar para que a partícula siga unha traxectoria rectilínea.

   (A.B.A.U. ord. 22)

   Rta.: a) ω = 7,5·10⁵ rad/s; b) $\overline{\boldsymbol{E}}$ = −1,8·10⁴ $\overline{\mathbf{k}}$ N/C.

Datos	***Cifras significativas: 3***
Masa da partícula	m = 8,00 ng = 8,00·10⁻¹² kg
Carga da partícula	q = −2,00 μ C = −2,00·10⁻⁶ C
Intensidade do campo magnético	$\overline{\boldsymbol{B}}$ = 3,00 $\overline{\mathbf{j}}$ T
Velocidade da partícula	$\overline{\boldsymbol{v}}$ = 6,00·10³ $\overline{\mathbf{i}}$ m/s
Radio da traxectoria circular	R = 1,00·10⁻⁷ m
Incógnitas	
Velocidade angular	ω
Vector campo eléctrico para que a partícula siga unha traxectoria rectilínea	$\overline{\boldsymbol{E}}$
Outros símbolos	
Radio da traxectoria circular	R
Valor da forza magnética sobre a partícula	F_B
Vector forza eléctrica sobre a partícula	$\overline{\boldsymbol{F}}_E$
Ecuacións	
Lei de Lorentz: forza magnética sobre unha carga, q, que se despraza polo interior dun campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, cunha velocidade, $\overline{\boldsymbol{v}}$	$\overline{\boldsymbol{F}}_B = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$
Aceleración normal (nun movemento circular de raio R)	$a_N = \frac{v^2}{R}$
2.ª lei de Newton da Dinámica	$\Sigma\overline{\boldsymbol{F}} = m \cdot \overline{\boldsymbol{a}}$
Velocidade nun movemento circular uniforme de raio R	$v = \frac{2\pi \cdot R}{T}$
Forza, $\overline{\boldsymbol{F}}_E$, exercida por un campo electrostático, $\overline{\boldsymbol{E}}$, sobre unha carga, q	$\overline{\boldsymbol{F}}_E = q \cdot \overline{\boldsymbol{E}}$
Relación entre a velocidade lineal v e a velocidade angular ω nun movemento circular de raio R.	$v = \omega \cdot R$

Solución:



a) Como só actúa a forza magnética, que é perpendicular á velocidade, a partícula describe unha traxectoria circular con velocidade de valor constante, polo que a aceleración só ten compoñente normal a_N.

$$F_B = m \cdot a = m \cdot a_N = m \frac{v^2}{R}$$

Usando a expresión da lei de Lorentz (en módulos) para a forza magnética:

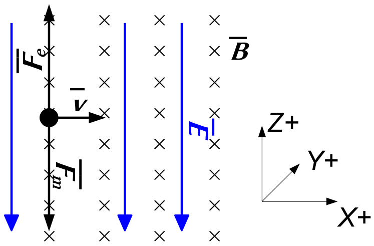
$$|q| \cdot B \cdot v \cdot \operatorname{sen} \varphi = m \frac{v^2}{R}$$

Se a partícula entra perpendicularmente ao campo magnético, sen φ = 1.
Despexando o raio, R:

$$R=\frac{m\cdot v}{|q|\cdot B}=\frac{8{,}00\cdot 10^{-12}\,[\mathrm{kg}]\cdot 6{,}00\cdot 10^{3}\,[\mathrm{m/s}]}{2{,}00\cdot 10^{-6}\,[\mathrm{C}]\cdot 3{,}00\,[\mathrm{T}]}=8{,}00\cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}=8{,}00\ \mathrm{mm}$$

Pódese calcular a velocidade angular a partir da velocidade lineal:

$$v=\omega\cdot R\Rightarrow \omega=\frac{v}{R}=\frac{6{,}00\cdot 10^{3}\,[\mathrm{m/s}]}{8{,}00\cdot 10^{-3}\,[\mathrm{m}]}=7{,}50\cdot 10^{5}\ \mathrm{rad/s}$$



b) Se a forza eléctrica anula a magnética:

$$\overline{F}_B+\overline{F}_E=q\,(\overline{v}\times\overline{B})+q\cdot\overline{E}=\overline{0}$$

$$\overline{E}=-(\overline{v}\times\overline{B})=-(6{,}00\cdot 10^{3}\,\overline{\mathbf{i}}\,[\mathrm{m/s}]\times 3{,}00\,\overline{\mathbf{j}}\,[\mathrm{T}])=-1{,}80\cdot 10^{4}\,\overline{\mathbf{k}}\ \mathrm{N/C}$$

1. Un electrón acelérase desde o repouso mediante unha diferenza de potencial de $1{,}0\cdot 10^{3}$ V, penetrando a continuación, perpendicularmente, nun campo magnético uniforme de 0,20 T. Calcula:
   a) A velocidade do electrón ao entrar no campo magnético.
   b) O raio da traxectoria do electrón.
   c) O módulo, a dirección e o sentido do campo eléctrico uniforme necesario para que o electrón non experimente desviación ao seu paso pola rexión na que existen o campo eléctrico e o magnético.
   Datos: $q_e = -1{,}6\cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9{,}1\cdot 10^{-31}$ kg. *(A.B.A.U. extr. 19)*
   Rta.: a) $v = 1{,}9\cdot 10^{7}$ m/s; b) $r = 5{,}4\cdot 10^{-4}$ m; c) $|E| = 3{,}8\cdot 10^{6}$ N/C $\perp\overline{v}\perp\overline{B}$

Datos	***Cifras significativas: 2***
Diferenza de potencial de aceleración	$V = 1{,}0\cdot 10^{3}$ V
Valor da intensidade do campo magnético	$B = 0{,}20$ T
Carga do electrón	$q = -1{,}60\cdot 10^{-19}$ C
Ángulo entre a velocidade do protón e o campo magnético	$\varphi = 90°$
Masa do electrón	$m = 9{,}1\cdot 10^{-31}$ kg
Incógnitas	
Velocidade do electrón	v
Radio da traxectoria circular	R
Vector campo eléctrico que anule o efecto do campo magnético	$\overline{E}$
Outros símbolos	
Valor da forza magnética sobre o electrón	F_B
Período do movemento circular	T
Enerxía (cinética) do protón	E_c
Ecuacións	
Lei de Lorentz: forza magnética sobre unha carga, q, que se despraza polo interior dun campo magnético, $\overline{B}$, cunha velocidade, $\overline{v}$	$\overline{F}_B = q\,(\overline{v}\times\overline{B})$
Aceleración normal (nun movemento circular de raio R)	$a_N=\dfrac{v^2}{R}$
2.ª lei de Newton da Dinámica	$\Sigma\overline{F} = m\cdot\overline{a}$
Velocidade nun movemento circular uniforme de raio R	$v=\dfrac{2\pi\cdot R}{T}$
Traballo do campo eléctrico	$W(\text{eléctrico}) = q\cdot\Delta V$
Traballo da forza resultante	$W = \Delta E_c$
Enerxía cinética	$E_c = ½\,m\cdot v^2$
Forza, $\overline{F}_E$, exercida por un campo electrostático, $\overline{E}$, sobre unha carga, q	$\overline{F}_E = q\cdot\overline{E}$

Solución:

a) Para calcular a velocidade temos que ter en conta que ao acelerar o electrón cunha diferenza de potencial (supomos que desde o repouso), este adquire unha enerxía cinética:

$$W(\text{eléctrico}) = |q|\cdot\Delta V = \Delta E_c = ½\,m_p\,v^2 - ½\,m_p\,v_0^2$$

Se parte do repouso, $v_0 = 0$. A velocidade final é:

$$v=\sqrt{\frac{2|q|\cdot\Delta V}{m_{\mathrm{p}}}}=\sqrt{\frac{2\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\,[\mathrm{C}]\cdot 1{,}0\cdot 10^{3}\,[\mathrm{V}]}{9{,}1\cdot 10^{-31}\,[\mathrm{kg}]}}=1{,}9\cdot 10^{7}\ \mathrm{m/s}$$

Análise: A velocidade é moi alta, pero non tanto que haxa que facer correccións relativistas.

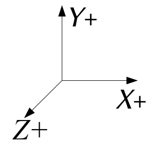
b) Como só actúa a forza magnética, que é perpendicular á velocidade, o electrón describe unha traxectoria circular con velocidade de valor constante, polo que a aceleración só ten compoñente normal a_{N}.

$$F_B=m\cdot a=m\cdot a_{\mathrm{N}}=m\frac{v^2}{R}$$

Usando a expresión da lei de Lorentz (en módulos) para a forza magnética:

$$|q|\cdot B\cdot v\cdot \mathrm{sen}\,\varphi=m\frac{v^2}{R}$$

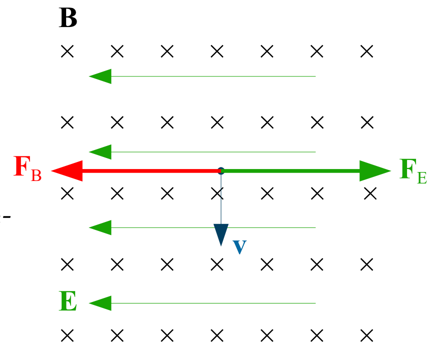
Despexando o raio, R:



$$R=\frac{m\cdot v}{|q|\cdot B\cdot \mathrm{sen}\,\varphi}=\frac{9{,}1\cdot 10^{-31}\,[\mathrm{kg}]\cdot 1{,}9\cdot 10^{7}\,[\mathrm{m/s}]}{1{,}6\cdot 10^{-19}\,[\mathrm{C}]\cdot 0{,}20[\mathrm{T}]\cdot \mathrm{sen}\,90°}=5{,}3\cdot 10^{-4}\ \mathrm{m}=0{,}53\ \mathrm{mm}$$

Análise: O raio ten un valor demasiado pequeno, menos dun milímetro.

c) Se actúa unha forza eléctrica que anula a magnética,



$$\overline{F}_B + \overline{F}_E = q\,(\overline{v}\times\overline{B}) + q\cdot\overline{E} = \overline{0}$$

O campo eléctrico debe valer, en módulo:

$$|\overline{E}\,| = |-(\overline{v}\times\overline{B})| = 1{,}9\cdot 10^7\ [\mathrm{m/s}]\cdot 0{,}20\ [\mathrm{T}]\cdot \mathrm{sen}\ 90° = 3{,}8\cdot 10^6\ \mathrm{N/C}$$

A dirección ten que ser a do produto $(\overline{v}\times\overline{B})$, perpendicular ao vector velocidade e perpendicular ao vector campo magnético.
O sentido ten que ser oposto ao da forza magnética. Poñamos o caso de que a velocidade é paralela ao eixe Y en sentido negativo e o campo magnético é paralelo ao eixe Z en sentido negativo, a forza magnética estará na dirección do eixe X en sentido negativo:

$$\overline{F}_B = q\,(\overline{v}\times\overline{B}) = -q\,v\,B\,(-\overline{\mathbf{j}}\times-\overline{\mathbf{k}}) = -q\,v\,B\,\overline{\mathbf{i}}$$

A forza eléctrica deberá estar na mesma dirección pero en sentido contrario.

$$\overline{F}_E = -\,\overline{F}_B = q\,v\,B\,\overline{\mathbf{i}}$$

Pero como a carga do electrón é negativa, o campo eléctrico deberá ser de sentido oposto ao da forza

$$\overline{E} = \overline{F}_E\,/\,(-q) = -v\,B\,\overline{\mathbf{i}}$$

1. Un protón móvese nun círculo de raio r = 20 cm, perpendicularmente a un campo magnético B = 0,4 T. Determina:
   a) A velocidade do protón.
   b) O período do movemento.
   c) O campo eléctrico necesario para anular o efecto do campo magnético.
   Datos: $q_{\mathrm{p}} = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ C; $m_{\mathrm{p}} = 1{,}67\cdot 10^{-27}$ kg. *(A.B.A.U. ord. 19)*
   Rta.: a) $v = 7{,}66\cdot 10^6$ m/s; b) $T = 1{,}64\cdot 10^{-7}$ s; c) $E = 3{,}07\cdot 10^6$ N/C.

Datos	***Cifras significativas: 3***
Raio da traxectoria circular	R = 20,0 cm = 0,200 m
Intensidade do campo magnético	B = 0,400 T
Carga do protón	$q_{\mathrm{p}} = 1{,}60\cdot 10^{-19}$ C
Masa do protón	$m_{\mathrm{p}} = 1{,}67\cdot 10^{-27}$ kg

Incógnitas

Datos	***Cifras significativas: 3***
Velocidade do protón	$\overline{\boldsymbol{v}}$
Período do movemento	T
Vector campo eléctrico que anule o efecto do campo magnético	$\overline{\boldsymbol{E}}$
Outros símbolos	
Vector forza magnética sobre o electrón	$\overline{\boldsymbol{F}}_B$
Vector forza eléctrica sobre o electrón	$\overline{\boldsymbol{F}}_E$
Ecuacións	
Lei de Lorentz: forza magnética sobre unha carga, q, que se despraza polo interior dun campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, cunha velocidade, $\overline{\boldsymbol{v}}$	$\overline{\boldsymbol{F}}_B = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$
Aceleración normal (nun movemento circular de raio R)	$a_N = \frac{v^2}{R}$
2.ª lei de Newton da Dinámica	$\Sigma\overline{\boldsymbol{F}} = m \cdot \overline{\boldsymbol{a}}$
Velocidade nun movemento circular uniforme de raio R	$v = \frac{2\pi \cdot R}{T}$
Forza, $\overline{\boldsymbol{F}}_E$, exercida por un campo electrostático, $\overline{\boldsymbol{E}}$, sobre unha carga, q	$\overline{\boldsymbol{F}}_E = q \cdot \overline{\boldsymbol{E}}$

Solución:

a) Como só actúa a forza magnética, que é perpendicular á velocidade, o protón describe unha traxectoria circular con velocidade de valor constante, polo que a aceleración só ten compoñente normal a_N.

$$F_B = m \cdot a = m \cdot a_N = m \frac{v^2}{R}$$

Usando a expresión da lei de Lorentz (en módulos) para a forza magnética:

$$|q| \cdot B \cdot v \cdot \operatorname{sen} \varphi = m \frac{v^2}{R}$$

Despexando a velocidade, v:

$$v = \frac{|q| \cdot B \cdot R \cdot \operatorname{sen} \varphi}{m} = \frac{|1{,}60 \cdot 10^{-19}\ [\mathrm{C}]| \cdot 0{,}400\ [\mathrm{T}] \cdot 0{,}200\ [\mathrm{m}] \cdot \operatorname{sen} 90°}{1{,}67 \cdot 10^{-27}\ [\mathrm{kg}]} = 7{,}66 \cdot 10^6\ \mathrm{m/s}$$

b) O período do movemento calcúlase a partir da ecuación da velocidade no movemento circular uniforme:

$$v = \frac{2\pi \cdot R}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi \cdot R}{v} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}200\ [\mathrm{m}]}{7{,}66 \cdot 10^6\ [\mathrm{m/s}]} = 1{,}64 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{s}$$

c) Se actúa unha forza eléctrica que anula a magnética,

$$\overline{\boldsymbol{F}}_B + \overline{\boldsymbol{F}}_E = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}}) + q \cdot \overline{\boldsymbol{E}} = \overline{\boldsymbol{0}}$$

O campo eléctrico debe valer, en módulo:

$$|\overline{\boldsymbol{E}}| = |-(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})| = 7{,}66 \cdot 10^6\ [\mathrm{m/s}] \cdot 0{,}400\ [\mathrm{T}] \cdot \operatorname{sen} 90° = 3{,}07 \cdot 10^6\ \mathrm{N/C}$$

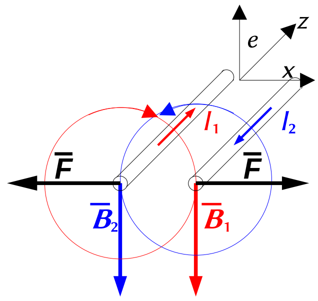
● Correntes

1. Dous condutores rectilíneos, paralelos e infinitos, están situados no plano yz, na dirección do eixo z, separados unha distancia de 80 cm. Se por cada un deles circula unha corrente de 12 A en sentidos contrarios, calcula:
   a) A forza por unidade de lonxitude que se exercen mutuamente, indicando a dirección e o sentido desta.
   b) O vector campo magnético no punto medio da distancia que separa os condutores.
   DATO: $\mu_0 = 4\pi\ 10^{-7}$ T m A^{-1}. *(A.B.A.U. ord. 23)*
   Rta.: a) $F/l = 3{,}6 \cdot 10^{-5}$ N/m; b) $\overline{\boldsymbol{B}} = -1{,}20 \cdot 10^{-5}\ \overline{\mathbf{j}}$ T

Datos	***Cifras significativas: 3***
Intensidade de corrente polo condutor 1	I_1 = 12,0 A
Intensidade de corrente polo condutor 2	I_2 = 12,0 A
Distancia entre os condutores	d = 80,0 cm = 0,800 m
Permeabilidade magnética do baleiro	$\mu_0 = 4\ \pi \cdot 10^{-7}$ T·m·A⁻¹
Incógnitas	
Forza por unidade de lonxitude que se exercen mutuamente	$\overline{\boldsymbol{F}}/l$
Campo magnético no punto medio entre os dous condutores	$\overline{\boldsymbol{B}}$
Ecuacións	
Lei de Biot-Savart: campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, creado a unha distanciar r, por un condutor recto polo que circula unha intensidade de corrente, I	$B=\frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}$
Principio de superposición:	$\overline{\boldsymbol{B}} = \Sigma \overline{\boldsymbol{B}}_i$
Lei de Laplace: forza magnética que exerce un campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, sobre un tramo, l, de condutor recto polo que circula unha intensidade de corrente, I	$\overline{\boldsymbol{F}}_B = I\,(\overline{\boldsymbol{l}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$

Solución:

a) O valor do campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, creado a unha distancia, r, por un condutor recto polo que circula unha intensidade de corrente, I, vén dado pola lei de Biot-Savart:



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

O campo magnético creado por un condutor rectilíneo é circular e o seu sentido vén dado pola regra da man dereita: o sentido do campo magnético é o de peche da man dereita cando o polgar apunta no sentido da corrente.

No diagrama debúxanse os campos magnéticos $\overline{\boldsymbol{B}}_1$ e $\overline{\boldsymbol{B}}_2$ creados por cada un dos condutores en o outro condutor.

O campo magnético creado polo condutor 1 no condutor 2, que dista 80 cm del é:

$$\vec{\boldsymbol{B}}_1=\frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot r}(-\vec{\mathbf{j}})=\frac{4\pi \cdot 10^{-7}\ [\mathrm{T \cdot m \cdot A^{-1}}] \cdot 12{,}0\ [\mathrm{A}]}{2\pi \cdot 0{,}800\ [\mathrm{m}]}(-\vec{\mathbf{j}})=-3{,}00 \cdot 10^{-6}\,\vec{\mathbf{j}}\ \mathrm{T}$$

A forza por unidade de lonxitude que exerce o condutor 1 sobre un condutor 2 vale:

$$\frac{\vec{\boldsymbol{F}}}{l}=\frac{I_2(\vec{\boldsymbol{l}} \times \vec{\boldsymbol{B}}_1)}{l}=I_2(\vec{\boldsymbol{u}}_l \times \vec{\boldsymbol{B}}_1)=12{,}0[\mathrm{A}](-\vec{\mathbf{k}} \times (-3{,}00 \cdot 10^{-6}\ \vec{\mathbf{j}}[\mathrm{T}]))=3{,}60 \cdot 10^{-5}\ \vec{\mathbf{i}}\ \mathrm{N/m}$$

O campo magnético creado polo condutor 2 no condutor 1 é:

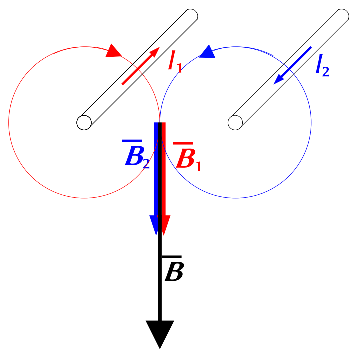
$$\vec{\boldsymbol{B}}_2=\frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot r}(-\vec{\mathbf{j}})=\frac{4\pi \cdot 10^{-7}\ [\mathrm{T \cdot m \cdot A^{-1}}] \cdot 12{,}0\ [\mathrm{A}]}{2\pi \cdot 0{,}800\ [\mathrm{m}]}(-\vec{\mathbf{j}})=-3{,}00 \cdot 10^{-6}\,\vec{\mathbf{j}}\ \mathrm{T}$$

A forza por unidade de lonxitude que se exerce sobre un condutor 2 sobre un condutor 1 vale:

$$\frac{\vec{\boldsymbol{F}}}{l}=\frac{I_1(\vec{\boldsymbol{l}} \times \vec{\boldsymbol{B}}_2)}{l}=I_1(\vec{\boldsymbol{u}}_l \times \vec{\boldsymbol{B}}_2)=12{,}0[\mathrm{A}](\vec{\mathbf{k}} \times (-3{,}00 \cdot 10^{-6}\ \vec{\mathbf{j}}[\mathrm{T}]))=-3{,}60 \cdot 10^{-5}\ \vec{\mathbf{i}}\ \mathrm{N/m}$$

Análise: Os condutores que transportan a corrente no mesmo sentido atráense e en sentido oposto repélense.

b) No diagrama debúxanse os campos magnéticos $\overline{\boldsymbol{B}}_1$ e $\overline{\boldsymbol{B}}_2$ creados por ambos os condutores no punto medio.



O campo magnético creado polo condutor 1 no punto equidistante de ambos os condutores é:

$$\vec{\boldsymbol{B}}_1=\frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot r_1}(-\vec{\mathbf{j}})=\frac{4\pi \cdot 10^{-7}\ [\mathrm{T \cdot m \cdot A^{-1}}] \cdot 12{,}0\ [\mathrm{A}]}{2\pi \cdot 0{,}400\ [\mathrm{m}]}(-\vec{\mathbf{j}})=-6{,}00 \cdot 10^{-6}\,\vec{\mathbf{j}}\ \mathrm{T}$$

O campo magnético creado polo condutor 2 no punto equidistante de ambos os condutores vale o mesmo:

$$\overline{\boldsymbol{B}}_2 = -6{,}00 \cdot 10^{-5}\ \overline{\mathbf{j}}\ \mathrm{T}$$

O campo magnético resultante é a suma vectorial de ambos:

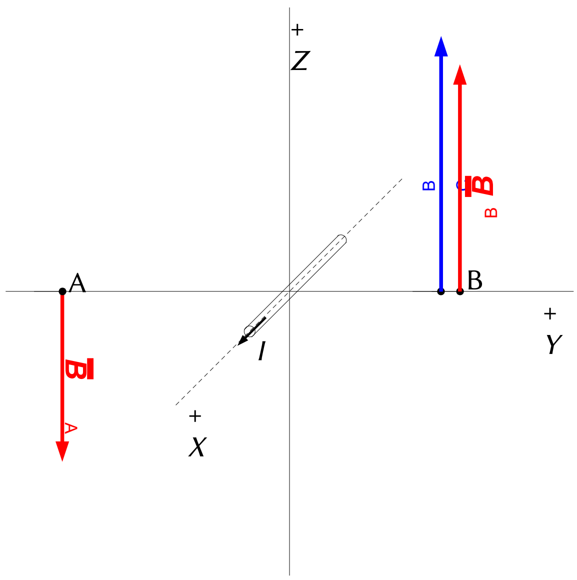
$$\overline{\boldsymbol{B}} = \overline{\boldsymbol{B}}_1 + \overline{\boldsymbol{B}}_2 = -6{,}00 \cdot 10^{-5}\ \overline{\mathbf{j}}\ [\mathrm{T}] + (-6{,}00 \cdot 10^{-5}\ \overline{\mathbf{j}}\ [\mathrm{T}]) = -1{,}20 \cdot 10^{-5}\ \overline{\mathbf{j}}\ \mathrm{T}$$

1. Por un fío condutor rectilíneo e infinitamente longo, situado sobre o eixe *X* circula unha corrente eléctrica no sentido positivo do eixe. O valor do campo magnético producido pola devandita corrente é de $6 \cdot 10^{-5}$ T no punto A(0, -y_A, 0), e de $8 \cdot 10^{-5}$ T no punto B(0, +y_B, 0). Sabendo que $y_A + y_B = 21$ cm, determina:
   a) A intensidade que circula polo fío condutor.
   b) O módulo e a dirección do campo magnético producido pola devandita corrente no punto de coordenadas (0, 8, 0) cm.
   Dato: $\mu_0 = 4\ \pi\ 10^{-7}$ T·m·A⁻¹. *(A.B.A.U. extr. 21)*
   Rta.: a) $I = 36$ A; b) $\overline{\boldsymbol{B}} = 9 \cdot 10^{-5}\ \overline{\mathbf{k}}$ T.

Datos	***Cifras significativas: 3***
Campo magnético no punto A	$\overline{\boldsymbol{B}}_A = 6{,}00 \cdot 10^{-5}$ T
Campo magnético no punto B	$\overline{\boldsymbol{B}}_B = 8{,}00 \cdot 10^{-5}$ T
Posición do punto A	$\overline{\boldsymbol{r}}_A$ (0, -y_A, 0) cm
Posición do punto B	$\overline{\boldsymbol{r}}_B$ (0, +y_B, 0) cm
Distancia entre os puntos A e B	$y_A + y_B = 21{,}0$ cm
Posición do punto C	$\overline{\boldsymbol{r}}_C$ (0, 8,00, 0) cm
Permeabilidade magnética do baleiro	$\mu_0 = 4\ \pi \cdot 10^{-7}$ T·m·A⁻¹
Incógnitas	
Intensidade de corrente polo condutor	I
Módulo e dirección do campo magnético no punto C	$\overline{\boldsymbol{B}}_C$
Ecuacións	
Lei de Biot-Savart: campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, creado a unha distanciar *r*, por un condutor recto polo que circula unha intensidade de corrente, *I*	$B = \dfrac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}$

Solución:

a) O campo magnético creado por un condutor rectilíneo é circular e o seu sentido vén dado pola regra da man dereita: o sentido do campo magnético é o de peche da man dereita cando o polgar apunta no sentido da corrente.



O valor do campo magnético $\overline{\boldsymbol{B}}$ creado a unha distancia *r* por un condutor recto polo que circula unha intensidade de corrente *I* vén dado pola lei de Biot-Savart:

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

Substituíndo valores na ecuación do campo magnético creado polo condutor no punto A(0, -y_A, 0) cm:

$$|\vec{\boldsymbol{B}}_A| = 6{,}00 \cdot 10^{-5}\ [\mathrm{T}] = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}\ [\mathrm{T \cdot m \cdot A^{-1}}] \cdot I}{2\pi \cdot y_A \cdot 10^{-2}\ [\mathrm{m}]}$$

$$I = 3{,}00 \cdot y_A$$

Analogamente para o punto B(0, y_B, 0) cm:

$$|\vec{\boldsymbol{B}}_B| = 8{,}00 \cdot 10^{-5}\ [\mathrm{T}] = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}\ [\mathrm{T \cdot m \cdot A^{-1}}] \cdot I}{2\pi \cdot y_B \cdot 10^{-2}\ [\mathrm{m}]}$$

$$I = 4{,}00 \cdot y_B$$

Empregando o dato:

$$y_A + y_B = 21{,}0$$

Despexando y_A e y_B nas ecuacións anteriores, pódese escribir:

$$\frac{I}{3{,}00}+\frac{I}{4{,}00}=21{,}0 \quad\Rightarrow \frac{4{,}00\,I+3{,}00\,I}{12{,}0}=21{,}0$$

$$I=\frac{21{,}0\cdot 12{,}0}{7{,}00}=36{,}0\text{ A}$$

$$y_A = 12{,}0\text{ cm}$$

$$y_B = 9{,}00\text{ cm}$$

b) O campo magnético creado polo condutor no punto C(0, 8, 0) cm é:

$$\vec{B}_C=\frac{\mu_0\cdot I}{2\pi\cdot r}(\vec{k})=\frac{4\pi\cdot 10^{-7}\,[\text{T·m·A}^{-1}]\cdot 36{,}0\,[\text{A}]}{2\pi\cdot 0{,}080\,0\,[\text{m}]}(\vec{k})=9{,}00\cdot 10^{-5}\,\vec{k}\text{ T}$$

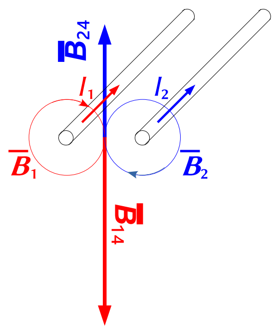
1. Dous fíos condutores moi longos, rectilíneos e paralelos, disponse verticalmente separados 8 cm. Polo condutor situado á esquerda circula unha corrente de intensidade 30 A, e polo situado á dereita, outra de 20 A, ambas cara arriba. Calcula:
   a) O campo de indución magnética no punto medio entre os dous condutores.
   b) A forza por unidade de lonxitude exercida sobre un terceiro condutor vertical situado entre os dous condutores iniciais, a 3 cm do condutor da esquerda, polo que circula unha corrente de 10 A dirixida cara abaixo.
   c) É conservativo o campo magnético creado polo condutor? Xustifícao.
   Dato: μ_0 = 4 π 10^{-7} T·m·A^{-1}. *(A.B.A.U. ord. 18)*
   Rta.: a) $|\overline{\boldsymbol{B}}|$ = 5,00·10^{-5} T; b) $\overline{\boldsymbol{F}}$ / l = 1,2·10^{-3} N/m cara ao 2.º condutor.

Datos	***Cifras significativas: 3***
Intensidade de corrente polo condutor 1	I_1 = 30,0 A
Intensidade de corrente polo condutor 2	I_2 = 20,0 A
Distancia entre os condutores	d = 8,00 cm = 0,0800 m
Permeabilidade magnética do baleiro	μ_0 = 4 π · 10^{-7} T·m·A^{-1}
Intensidade de corrente polo condutor 3	I_C = 10,0 A
Distancia do condutor 3 ao condutor 1	d_{31} = 3,00 cm = 0,0300 m
Incógnitas	
Campo magnético no punto medio entre os dous condutores	$\overline{\boldsymbol{B}}$
Forza por unidade de lonxitude exercida sobre un condutor 3 a 3 cm do 1	$\overline{\boldsymbol{F}}_3$
Ecuacións	
Lei de Biot-Savart: campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, creado a unha distanciar r, por un condutor recto polo que circula unha intensidade de corrente, I	$B=\frac{\mu_0\cdot I}{2\pi\cdot r}$
Principio de superposición:	$\overline{\boldsymbol{B}} = \sum \overline{\boldsymbol{B}}_i$
Lei de Laplace: forza magnética que exerce un campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, sobre un tramo, l, de condutor recto polo que circula unha intensidade de corrente, I	$\overline{\boldsymbol{F}}_B = I\,(\overline{\boldsymbol{l}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$

Solución:

a) O valor do campo magnético $\overline{\boldsymbol{B}}$ creado a unha distancia r por un condutor recto polo que circula unha intensidade de corrente I vén dado pola lei de Biot-Savart:

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

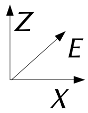


O campo magnético creado por un condutor rectilíneo é circular e o seu sentido vén dado pola regra da man dereita: o sentido do campo magnético é o de peche da man dereita cando o polgar apunta no sentido da corrente.
No diagrama debúxanse os campos magnéticos $\overline{\boldsymbol{B}}_1$ e $\overline{\boldsymbol{B}}_2$ creados por ámbolos dous condutores no punto medio 4.

O campo magnético creado polo condutor 1 no punto 4 equidistante de ámbolos dous condutores é:

$$\vec{B}_{1\to4}=\frac{\mu_0\cdot I_1}{2\pi\cdot r_{14}}(-\vec{\mathbf{k}})=\frac{4\pi\cdot10^{-7}\,[\mathrm{T{\cdot}m{\cdot}A^{-1}}]\cdot30{,}0\,[\mathrm{A}]}{2\pi\cdot0{,}040\;0\,[\mathrm{m}]}(-\vec{\mathbf{k}})=-1{,}50\cdot10^{-4}\,\vec{\mathbf{k}}\ \mathrm{T}$$

O campo magnético creado polo condutor 2 no punto 4 equidistante de ámbolos dous condutores é:

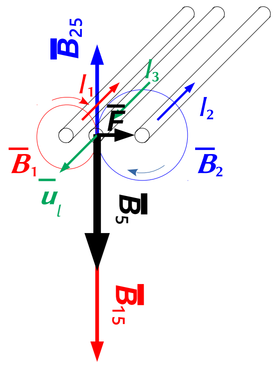


$$\vec{B}_{2\to4}=\frac{\mu_0\cdot I_B}{2\pi\cdot r_{24}}\vec{\mathbf{k}}=\frac{4\pi\cdot10^{-7}\,[\mathrm{T{\cdot}m{\cdot}A^{-1}}]\cdot20{,}0\,[\mathrm{A}]}{2\pi\cdot0{,}040\;0\,[\mathrm{m}]}\vec{\mathbf{k}}=1{,}00\cdot10^{-4}\,\vec{\mathbf{k}}\ \mathrm{T}$$

O campo magnético resultante é a suma vectorial de ambos:

$$\overline{\boldsymbol{B}}=\overline{\boldsymbol{B}}_{1\to4}+\overline{\boldsymbol{B}}_{2\to4}=-1{,}50\cdot10^{-4}\,\overline{\mathbf{k}}\,[\mathrm{T}]+1{,}00\cdot10^{-4}\,\overline{\mathbf{k}}\,[\mathrm{T}]=-5{,}00\cdot10^{-5}\,\overline{\mathbf{k}}\ \mathrm{T}$$

b) No diagrama debúxanse os campos magnéticos $\overline{\boldsymbol{B}}_1$ e $\overline{\boldsymbol{B}}_2$ creados por ambos os condutores no punto 5, situado a 3 cm do condutor da esquerda.



O campo magnético creado polo condutor 1 no punto 5, a 3 cm del é:

$$\vec{B}_{1\to5}=\frac{\mu_0\cdot I_1}{2\pi\cdot r_{15}}(-\vec{\mathbf{k}})=\frac{4\pi\cdot10^{-7}\,[\mathrm{T{\cdot}m{\cdot}A^{-1}}]\cdot30{,}0\,[\mathrm{A}]}{2\pi\cdot0{,}030\;0\,[\mathrm{m}]}(-\vec{\mathbf{k}})=-2{,}00\cdot10^{-4}\,\vec{\mathbf{k}}\ \mathrm{T}$$

O campo magnético creado polo condutor 2 no punto 5, a 5 cm del é:

$$\vec{B}_{2\to5}=\frac{\mu_0\cdot I_B}{2\pi\cdot r_{25}}\vec{\mathbf{k}}=\frac{4\pi\cdot10^{-7}\,[\mathrm{T{\cdot}m{\cdot}A^{-1}}]\cdot20{,}0\,[\mathrm{A}]}{2\pi\cdot0{,}050\;0\,[\mathrm{m}]}\vec{\mathbf{k}}=8{,}00\cdot10^{-5}\,\vec{\mathbf{k}}\ \mathrm{T}$$

O campo magnético resultante é a suma vectorial de ambos:

$$\overline{\boldsymbol{B}}_5=\overline{\boldsymbol{B}}_{1\to5}+\overline{\boldsymbol{B}}_{2\to5}=-2{,}00\cdot10^{-4}\,\overline{\mathbf{k}}\,[\mathrm{T}]+8{,}00\cdot10^{-5}\,\overline{\mathbf{k}}\,[\mathrm{T}]=-1{,}20\cdot10^{-4}\,\overline{\mathbf{k}}\ \mathrm{T}$$

A forza por unidade de lonxitude que se exerce sobre un condutor 3 situado no punto 5 é:

$$\frac{\vec{F}}{l}=\frac{I(\vec{l}\times\vec{B}_5)}{l}=I(\vec{u}_l\times\vec{B}_5)=10{,}0\,[\mathrm{A}](-\vec{\mathbf{j}}\times(-1{,}2\cdot10^{-4}\,\vec{\mathbf{k}}\,[\mathrm{T}]))=1{,}2\cdot10^{-3}\,\vec{\mathbf{i}}\ \mathrm{N/m}$$

Está dirixida cara ao condutor 2 porque o sentido da corrente é o contrario que o dos outros condutores.
Análise: Os condutores que transportan a corrente no mesmo sentido atráense e os que o fan en sentido oposto repélense. Aínda que sufre a repulsión de ambos os dous condutores, a forza maior é a do condutor polo que circula maior intensidade e se atopa mais cerca, ou sexa o 1.

c) Non. Para que un campo vectorial sexa conservativo, a circulación do campo ao longo dunha liña pechada debe ser nula, o que é equivalente a dicir que a circulación entre dous puntos A e B é independente do camiño seguido, só dependería dos puntos A e B.
O campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, non é conservativo. A circulación do vector $\overline{\boldsymbol{B}}$ ao longo dunha liña *l* pechada non é nula. Pola lei de Ampère.

$$\oint\vec{B}\,\mathrm{d}\,\vec{l}=\mu_0\sum I$$

◊ CUESTIÓNS

● Partículas

1. Unha partícula posúe unha carga de 5 nC e penetra nunha rexión do espazo onde hai un campo magnético $\overline{\boldsymbol{B}}$ = 0,6 $\overline{\mathbf{i}}$ T cunha velocidade $\overline{\boldsymbol{v}}$ = 8·10⁶ $\overline{\mathbf{j}}$ m·s⁻¹, describindo unha circunferencia de 2 µm de raio. O valor da masa da partícula é:
A) $7{,}5\times10^{-22}$ kg.
B) $4{,}5\times10^{-22}$ kg.
C) $2{,}5\times10^{-22}$ kg.

(A.B.A.U. ord. 24)

Datos	***Cifras significativas: 2***
Carga da partícula	q = 5,0 nC = $5{,}0\cdot10^{-9}$ C
Intensidade do campo magnético	$\overline{\boldsymbol{B}}$ = 0,60 $\overline{\mathbf{i}}$ T
Velocidade da partícula	$\overline{\boldsymbol{v}}$ = $8{,}0\cdot10^{6}$ $\overline{\mathbf{j}}$ m/s
Radio da traxectoria circular	R = 2,0 µm = $2{,}0\cdot10^{-6}$ m
Incógnitas	
Masa da partícula	m
Outros símbolos	
Valor da forza magnética sobre a partícula	F_B
Vector forza eléctrica sobre a partícula	$\overline{\boldsymbol{F}}_E$
Ecuacións	
Lei de Lorentz: forza magnética sobre unha carga, q, que se despraza no interior dun campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, cunha velocidade, $\overline{\boldsymbol{v}}$	$\overline{\boldsymbol{F}}_B = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$
Aceleración normal (nun movemento circular de raio R)	$a_N = \frac{v^2}{R}$
2.ª lei de Newton da Dinámica	$\Sigma\overline{\boldsymbol{F}} = m \cdot \overline{\boldsymbol{a}}$

Solución:

Como só actúa a forza magnética, que é perpendicular á velocidade, a partícula describe unha traxectoria circular con velocidade de valor constante, polo que a aceleración só ten compoñente normal a_N.

$$F_B = m\cdot a = m\cdot a_N = m\frac{v^2}{R}$$

Usando a expresión da lei de Lorentz (en módulos) para a forza magnética:

$$|q|\cdot B\cdot v\cdot \operatorname{sen}\varphi = m\frac{v^2}{R}$$

Se a partícula entra perpendicularmente ao campo magnético, sen φ = 1.
Despexando a masa, m:

$$m = \frac{R\cdot q\cdot B}{v} = \frac{2{,}0\cdot10^{-6}\,[\text{m}]\cdot 5{,}0\cdot10^{-9}\,[\text{C}]\cdot 0{,}60\,[\text{T}]}{8{,}0\cdot10^{6}\,[\text{m/s}]} = 7{,}5\cdot10^{-22}\text{ kg}$$

Coincide coa opción A.

Análise: A masa desta partícula é $7{,}5\cdot10^{-22}$ / $1{,}67\cdot10^{-27}$ = $4{,}5\cdot10^{5}$ *veces a masa do protón, e a súa carga vale* $5\cdot10^{-9}$ / $1{,}6\cdot10^{-19}$ = $3{,}1\cdot10^{10}$*. Non parece moi probable que unha partícula poida ter a carga de* 31 000 000 000 *de protóns e a masa de só* 450 000. *Si comparámolo co positrón, (xa que a súa carga é positiva) a antipartícula do electrón, a relación de masas é* $7{,}5\cdot10^{-22}$ / $9{,}1\cdot10^{-31}$ = $7{,}9\cdot10^{8}$ *veces a masa do positrón. Tampouco parece probable semellante concentración de antimateria. Repasando os cálculos, non parecen conter erros, así que supoño que a persoa que redactou o exercicio non elixiu os valores axeitados.*

1. Un núcleo do isótopo ${}^{4}_{2}\text{He}$ describe unha traxectoria de raio r nun campo magnético. Sen variar as condicións do campo magnético nin da dirección ou velocidade de entrada, facemos incidir un núcleo de ${}^{3}_{2}\text{He}$ que describirá unha traxectoria de raio:
   A) Menor.
   B) Maior.
   C) Igual.

(A.B.A.U. ord. 23)

Solución: A

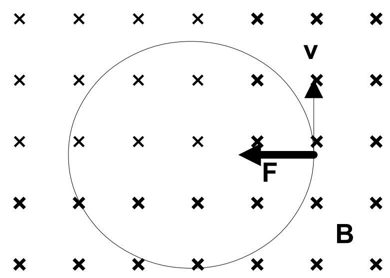
A forza magnética, $\overline{\boldsymbol{F}}_B$, sobre unha carga, q, que se despraza no interior dun campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, cunha velocidade, $\overline{\boldsymbol{v}}$, vén dada pola lei de Lorentz:

$$\overline{\boldsymbol{F}}_B = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$$

Esta forza é perpendicular en todos os puntos á dirección de avance da partícula, polo que describe traxectoria circular con velocidade de valor constante, xa que a aceleración só ten compoñente normal a_N.

$$a_N = \frac{v^2}{r}$$

Se só actúa a forza magnética:



$$\Sigma \overline{\boldsymbol{F}} = \overline{\boldsymbol{F}}_B$$

Aplicando a 2.ª lei de Newton

$$\Sigma \overline{\boldsymbol{F}} = m \cdot \overline{\boldsymbol{a}}$$

$$F_B = m \cdot a = m \cdot a_N = m \frac{v^2}{R}$$

Usando a expresión da lei de Lorentz (en módulos) para a forza magnética

$$|q| \cdot B \cdot v \cdot \operatorname{sen} \varphi = m \frac{v^2}{R}$$

Se as partículas entran perpendicularmente ao campo, sen φ = 1.
Despexando o radio, R:

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

A carga do núcleo de ${}^3_2\text{He}$ é a mesma que a do núcleo de ${}^4_2\text{He}$.

$$q_3 = q_4 = 2$$

Como as velocidades e o campo magnético tamén son iguais, aplicando esta expresión tanto ao núcleo de ${}^4_2\text{He}$ como ao núcleo de ${}^3_2\text{He}$ e dividindo unha entre a outra queda:

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{\frac{m_3 \cdot \cancel{v}}{\cancel{q_3} \cdot B}}{\frac{m_4 \cdot \cancel{v}}{\cancel{q_4} \cdot B}} = \frac{m_3}{m_4} = \frac{3}{4} < 1 \quad \Rightarrow R_3 < R_4$$

O radio da circunferencia descrita polo núcleo de ${}^3_2\text{He}$ é menor que o da circunferencia descrita polo núcleo de ${}^4_2\text{He}$.

1. Dúas partículas con cargas, respectivamente, Q_1 e Q_2, describen traxectorias circulares de igual raio nunha rexión na que hai un campo magnético estacionario e uniforme. Ámbalas partículas:
   A) Deben ter a mesma masa.
   B) Deben ter a mesma velocidade.
   C) Non é necesario que teñan a mesma masa nin velocidade.

(A.B.A.U. extr. 21)

Solución: C

Se só actúa a forza magnética:

$$\Sigma \overline{\boldsymbol{F}} = \overline{\boldsymbol{F}}_B$$

Aplicando a 2.ª lei de Newton:

$$\Sigma \overline{\boldsymbol{F}} = m \cdot \overline{\boldsymbol{a}}$$

$$F_B = m \cdot a = m \cdot a_N = m \frac{v^2}{R}$$

Usando a expresión da lei de Lorentz (en módulos) para a forza magnética:

$$|q|\cdot B\cdot v\cdot \operatorname{sen}\varphi = m\frac{v^2}{R}$$

Como as partículas entran perpendicularmente ao campo, sen φ = 1.
Despexando o raio, *R:*

$$R=\frac{m\cdot v}{q\cdot B}$$

Se as cargas son distintas, para que o raio sexa o mesmo, deber ter momentos lineais, m · v, proporcionais ás cargas. Pero non é necesario que teñan a mesma masa ou velocidade.

$$\frac{m_1\cdot v_1}{Q_q}=\frac{m_2\cdot v_2}{Q_2}=R\ \cdot B=\text{constante}$$

1. Unha partícula de masa *m* e carga *q* penetra nunha rexión onde existe un campo magnético uniforme de módulo *B* perpendicular á velocidade, *v*, da partícula. O raio da órbita descrita:
A) Aumenta se aumenta a intensidade do campo magnético.
B) Aumenta se aumenta a enerxía cinética da partícula.
C) Non depende da enerxía cinética da partícula.

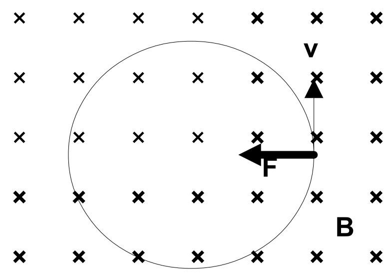
(A.B.A.U. ord. 21, extr. 19)

Solución: B

A forza magnética, $\overline{\boldsymbol{F}}_B$, sobre unha carga, *q*, que se despraza no interior dun campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, cunha velocidade, $\overline{\boldsymbol{v}}$, vén dada pola lei de Lorentz:

$$\overline{\boldsymbol{F}}_B = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$$

Esta forza é perpendicular en todos os puntos á dirección de avance da partícula, polo que describe traxectoria circular con velocidade de valor constante xa que a aceleración só ten compoñente normal a_N.
Se só actúa a forza magnética:



$$\Sigma\overline{\boldsymbol{F}} = \overline{\boldsymbol{F}}_B$$

Aplicándoa 2.ª lei de Newton:

$$\Sigma\overline{\boldsymbol{F}} = m\cdot\overline{\boldsymbol{a}}$$

$$F_B=m\cdot a=m\cdot a_N=m\frac{v^2}{R}$$

Usando a expresión da lei de Lorentz (en módulos) para a forza magnética quedaría:

$$|q|\cdot B\cdot v\cdot \operatorname{sen}\varphi = m\frac{v^2}{R}$$

Se as partículas entran perpendicularmente ao campo, sen φ = 1.
Despexando o raio, *R*:

$$R=\frac{m\cdot v}{q\cdot B}$$

Se aumenta a enerxía cinética, aumenta a velocidade e, como se ve na ecuación anterior, aumenta tamén o raio da traxectoria.

1. Unha partícula móvese nun círculo de raio *r* perpendicularmente a un campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$. Se duplicamos o valor de $\overline{\boldsymbol{B}}$, o valor de *r*:
A) Duplícase.
B) Redúcese á metade.
C) Non varía.

(A.B.A.U. extr. 20)

Solución: B

A forza magnética, $\overline{\boldsymbol{F}}_B$, sobre unha carga, q, que se despraza no interior dun campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, cunha velocidade, $\overline{\boldsymbol{v}}$, vén dada pola lei de Lorentz:

$$\overline{\boldsymbol{F}}_B = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$$

Esta forza é perpendicular en todos os puntos á dirección de avance da partícula, polo que describe unha traxectoria circular con velocidade de valor constante xa que a aceleración só ten compoñente normal a_N.

$$a_N = \frac{v^2}{r}$$

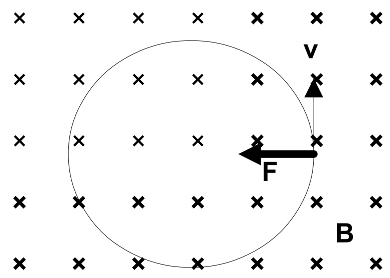
Se só actúa a forza magnética:

$$\Sigma \overline{\boldsymbol{F}} = \overline{\boldsymbol{F}}_B$$

Aplicando a 2.ª lei de Newton:

$$\Sigma \overline{\boldsymbol{F}} = m \cdot \overline{\boldsymbol{a}}$$

$$F_B = m \cdot a = m \cdot a_N = m \frac{v^2}{R}$$



Usando a expresión da lei de Lorentz (en módulos) para a forza magnética:

$$|q| \cdot B \cdot v \cdot \operatorname{sen} \varphi = m \frac{v^2}{R}$$

Como as partículas entran perpendicularmente ao campo, sen φ = 1.
Despexando o raio, *R:*

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

Como o valor da velocidade é constante, o mesmo que a carga e a masa da partícula, o raio da traxectoria é inversamente proporcional á intensidade do campo magnético. Se o campo magnético faise o dobre, o raio da traxectoria redúcese á metade.

1. Un protón e unha partícula α entran perpendicularmente no seo dun campo magnético estacionario e uniforme de indución, $\overline{\boldsymbol{B}}$, describindo traxectorias circulares de igual raio. O cociente entre as velocidades da partícula α e do protón, v(α) / v(p), é:
   A) 0,5
   B) 2
   C) 8
   DATOS: m(α) = 4 m(p); q(α) = 2 q(p). *(A.B.A.U. ord. 20)*

Solución: A

A forza magnética, $\overline{\boldsymbol{F}}_B$, sobre unha carga, q, que se despraza no interior dun campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, cunha velocidade, $\overline{\boldsymbol{v}}$, vén dada pola lei de Lorentz:

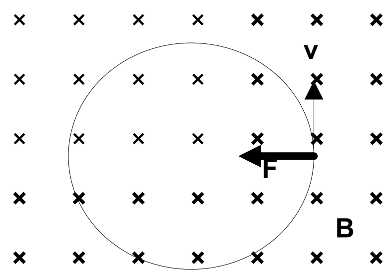
$$\overline{\boldsymbol{F}}_B = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$$

Esta forza é perpendicular en todos os puntos á dirección de avance da partícula, polo que describe unha traxectoria circular con velocidade de valor constante xa que a aceleración só ten compoñente normal a_N.

$$a_N = \frac{v^2}{r}$$

Se só actúa a forza magnética:

$$\Sigma \overline{\boldsymbol{F}} = \overline{\boldsymbol{F}}_B$$



Aplicando a 2.ª lei de Newton:

$$\Sigma \overline{\boldsymbol{F}} = m \cdot \overline{\boldsymbol{a}}$$

$$F_B = m \cdot a = m \cdot a_N = m \frac{v^2}{R}$$

Usando a expresión da lei de Lorentz (en módulos) para a forza magnética:

$$|q| \cdot B \cdot v \cdot \text{sen}\, \varphi = m \frac{v^2}{R}$$

Como as partículas entran perpendicularmente ao campo, sen φ = 1.
Despexando a velocidade v:

$$v = \frac{q \cdot B \cdot R}{m}$$

Como o raio e o campo magnético son os mesmos, aplicando esta expresión tanto á partícula α como ao protón e dividindo unha entre a outra queda:

$$\frac{v_\alpha}{v_p} = \frac{\frac{q_\alpha \cdot \cancel{B \cdot R}}{m_\alpha}}{\frac{q_p \cdot \cancel{B \cdot R}}{m_p}} = \frac{m_p \cdot q_\alpha}{m_\alpha \cdot q_p} = \frac{m_p \cdot 2\, q_p}{4\, m_p \cdot q_p} = \frac{1}{2}$$

$$v_\alpha = 1/2\ v_p$$

A velocidade da partícula alfa é a metade que a do protón.

1. Se unha partícula cargada se move nun campo magnético e este exerce unha forza, dita forza sempre é perpendicular á velocidade da partícula.
A) Verdadeiro.
B) Falso.
C) Depende do módulo da velocidade da partícula.

(A.B.A.U. extr. 18)

Solución: A

A forza magnética, $\overline{\boldsymbol{F}}_B$, sobre unha carga, q, que se despraza no interior dun campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, cunha velocidade, $\overline{\boldsymbol{v}}$, vén dada pola lei de Lorentz:

$$\overline{\boldsymbol{F}}_B = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$$

Esta forza é perpendicular á velocidade da partícula.

1. Se unha partícula cargada de masa desprezable penetra nun campo magnético uniforme cunha velocidade que forma un ángulo de 180° coas liñas do campo, a traxectoria que describe a partícula é:
A) Rectilínea.
B) Circular.
C) Parabólica.

(A.B.A.U. ord. 18)

Solución: A

A forza magnética, $\overline{\boldsymbol{F}}_B$, sobre unha carga, q, que se despraza no interior dun campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, cunha velocidade, $\overline{\boldsymbol{v}}$, vén dada pola lei de Lorentz:

$$\overline{\boldsymbol{F}} = q\,(\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}})$$

O módulo do produto vectorial dos vectores velocidade e indución magnética é:

$$|\overline{\boldsymbol{v}} \times \overline{\boldsymbol{B}}| = |\overline{\boldsymbol{v}}| \cdot |\overline{\boldsymbol{B}}| \cdot \operatorname{sen} \varphi$$

Onde φ é o ángulo que forman eses vectores. Se $\varphi = 180°$, entón sen $\varphi = 0$ e a forza é nula, polo que a partícula non se desvía. A traxectoria será rectilínea.

● Correntes

1. A relación entre o módulo do campo magnético B_1 creado por unha corrente rectilínea indefinida *I* nun punto situado á distancia perpendicular *r* do condutor e o B_2 creado por outra corrente 2 *I* nun punto situado á distancia 3 *r*, B_1 / B_2, é:
A) 2 / 3
B) 9 / 2
C) 3 / 2

(A.B.A.U. extr. 23)

Solución: C

O módulo do campo magnético creado por unha corrente rectilínea indefinida segue a lei de Biot - Savart:

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

Nesta expresión B é o campo magnético, μ_0 é a constante de permeabilidade magnética do vacío, I é a intensidade da corrente e r é a distancia perpendicular ao condutor.
A expresión para o campo magnético no primeiro caso é:

$$B_1=\frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}$$

No segundo caso:

$$B_2=\frac{\mu_0 \cdot 2 I}{2\pi \cdot 3 r}$$

Dividindo o campo magnético B_1 polo campo magnético B_2, obtemos que:

$$\frac{B_1}{B_2}=\frac{\frac{\cancel{\mu_0} \cdot \cancel{I}}{\cancel{2\pi \cdot r}}}{\frac{\cancel{\mu_0} \cdot 2 \cancel{I}}{\cancel{2\pi} \cdot 3 \cancel{r}}}=\frac{3}{2}$$

1. Por un condutor rectilíneo moi longo circula unha corrente de 1 A. O campo magnético que se orixina nas súas proximidades faise máis intenso canto:
A) Máis groso sexa o condutor.
B) Maior sexa a súa lonxitude.
C) Máis preto do condutor estea o punto onde se determina.

(A.B.A.U. extr. 17)

Solución: C

A dirección do campo magnético, $\overline{\boldsymbol{B}}$, creado por unha intensidade, *I*, de corrente que circula por un condutor rectilíneo indefinido é circular arredor do fío e o seu valor nun punto a unha distancia, *r*, do fío vén dada pola lei de Biot-Savart:

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

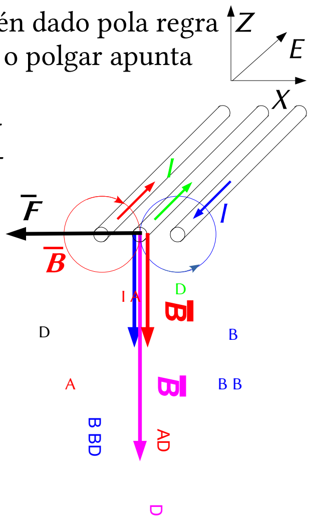
O sentido do campo magnético vén dado pola regra da man dereita (o sentido do campo magnético é o do peche da man dereita cando o polgar apunta no sentido da corrente eléctrica).

Como se ve na expresión, canto menor sexa a distancia, r, do punto ao fío, maior será a intensidade do campo magnético.

1. Dous condutores idénticos A e B paralelos, con correntes respectivas +*I* e -*I* (entrando e saíndo do plano do papel) están separados unha distancia *a*. Un terceiro condutor, C, paralelo e idéntico aos anteriores e con corrente +*I* (entrando) sitúase en *a*/2. Sobre el exércese unha forza:
   A) Dirixida cara a A.
   B) Dirixida cara a B.
   C) Non se exerce ningunha forza sobre el.

(A.B.A.U. ord. 17)

Solución: A



O campo magnético creado por un condutor rectilíneo é circular e o seu sentido vén dado pola regra da man dereita: o sentido do campo magnético é o de peche da man dereita cando o polgar apunta no sentido da corrente.
No diagrama debúxanse os campos magnéticos $\overline{\boldsymbol{B}}_A$ e $\overline{\boldsymbol{B}}_B$ creados por ambos os condutores no punto medio D, e o vector forza magnética, $\overline{\boldsymbol{F}}_D$, exercida sobre o condutor alí situado.
Tanto o campo magnético creado polo condutor A no punto D equidistante de ambos os condutores como o campo magnético creado polo condutor B no punto D están dirixidos no sentido negativo do eixe *Z*. Por tanto, o vector campo magnético resultante tamén o está. Aplicando a lei de Lorentz:

$$\overline{\boldsymbol{F}} = I\,(\overline{\boldsymbol{l}} \times \overline{\boldsymbol{B}}) = I\,(l\,\overline{\mathbf{j}} \times B\,(-\overline{\mathbf{k}})) = I \cdot l \cdot B\,(-\overline{\mathbf{i}})$$

Vese que está dirixida cara ao condutor que leva a corrente A.

Actualizado: 13/06/24

Cuestións e problemas das [Probas de avaliación de Bacharelato para o acceso á Universidade] (A.B.A.U. e P.A.U.) en Galiza.
[Respostas] e composición de [Alfonso J. Barbadillo Marán].
Algúns cálculos fixéronse cunha [folla de cálculo] de [LibreOffice] do mesmo autor.
Algunhas ecuacións e as fórmulas orgánicas construíronse coa extensión [CLC09] de Charles Lalanne-Cassou.
A tradución ao/desde o galego realizouse coa axuda de *[traducindote]*, de Óscar Hermida López.
Procurouse seguir as [recomendacións] do Centro Español de Metrología (CEM).
Consultouse ao Copilot de Microsoft Edge e tivéronse en conta algunhas das súas respostas nas cuestións.

Sumario

Índice de probas A.B.A.U.