

CAMPO MAGNÉTICO

1. Campo magnético no baleiro

As propiedades magnéticas dos imáns son coñecidas dende a Antigüidade e os imáns non eran máis ca obxectos que podían atraer fortemente aos obxectos de ferro. Pero non se relacionara coa corrente eléctrica até o século XIX.

1.1. As cargas en movemento como orixe do campo magnético: experiencias de Oersted.

Oersted descubriu que unha corrente eléctrica era capaz de desviar unha agulla imantada dunha brúxula



Mentres non existe unha corrente eléctrica no entorno da agulla da brúxula, esta indica a súa posición habitual (o norte magnético). Pero ao conectar a corrente eléctrica, a agulla orientase en dirección perpendicular á corrente, e a desviación faise maior canto maior é a intensidade da corrente. Deste xeito, Oersted puxo de manifesto a relación entre correntes eléctricas e magnéticas. Veremos que, en realidade, campo magnético e campo eléctrico son dúas expresións físicas dunha mesma realidade.

1.2. Forza magnética sobre una carga en movemento no seo dun campo magnético: lei de Lorentz.

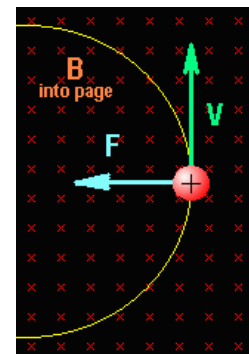
Do mesmo xeito que existen unha forza gravitatoria e unha forza eléctrica, tamén podemos dicir que existe unha forza magnética sobre cargas en movemento, que se expresa segundo a **Lei de Lorentz**:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \wedge \vec{B})$$

Como se pode ver na propia ecuación, a carga sobre a que se exerce a forza debe estar en movemento sobre un campo magnético. A maior campo, maior forza, e a maior velocidade, tamén maior forza. *Ollo*: se non se move, non hai forza!!! Ademais, por ser produto vectorial, o módulo da forza vale: $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha$, onde α é o ángulo que forman $\vec{v}$ e $\vec{B}$. A dirección da forza sábese pola regra da man dereita (ou do sacacorchos)¹.

Como vemos, a forza é perpendicular sempre a $\vec{v}$ e a $\vec{B}$, polo tanto non modificará o valor da velocidade da carga, pero sí a súa dirección. Igualaranse:

$$F_{\text{centrípeta}} = F_{\text{Lorentz}} \Rightarrow m \frac{v^2}{R} = qvB \Rightarrow \text{provocase un MCU con radio } R = \frac{mv}{qB}$$



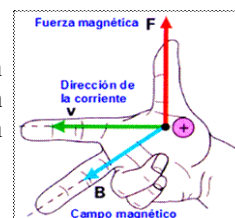
1.2.1. Definición e unidades de B: movemento de cargas nun campo magnético uniforme.

Segundo a lei de Lorentz que acabamos de estudar, non é difícil entender cal será o valor do campo magnético $\vec{B}$. Será un vector con un módulo que vale $B = \frac{F}{qv \sin\alpha}$. As súas unidades no sistema internacional son as Teslas (T). As liñas de campo magnético serven para visualizar o campo magnético nunha zona determinado do espazo. As liñas de campo magnético, ao contrario das de campo eléctrico, son fechadas, é dicir, van dende o polo norte ao polo sur do imán.

1.3. Descrición dos imáns naturais como creadores de campo magnético. Correntes microscópicas.

A experiencia de Oersted confirma que as correntes eléctricas producen os mesmos efectos cós imáns. En realidade, é posible pensar que todos os imáns son pequenas correntes eléctricas no interior dos átomos. Ademais, os electróns xiran sobre si mesmos producindo á súa vez efectos magnéticos adicionais. Así, podemos imaxinar que en toda materia existen pequenas correntes eléctricas que, se están

¹ Ter en conta que a regra da man dereita é a regra xeral do produto vectorial. Normalmente en electromagnetismo fálase da regra da man esquerda porque normalmente as cargas que se moven son electróns: Moito ollo, se a carga que se move é un electrón, o sentido é oposto ao que marca a regra da man dereita!!!



orientadas ao chou non provoca a imantación de dito material, pero si as correntes están orientados no mesmo sentido, forman un imán natural.

1.4. Definición da circulación de B arredor duna liña cerrada (lei de Ampere).

Como as liñas de campo magnético son pechadas, non podemos aplicar o teorema de Gauss, xa que o fluxo a través dunha superficie pechada sería nulo. Pero si podemos utilizar a lei de Ampere para calcular o campo magnético creado por algunhas correntes eléctricas de xeometría sinxela.

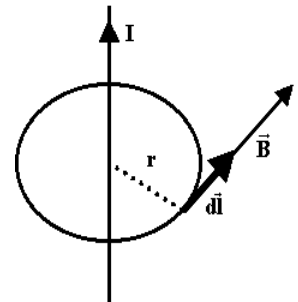
Chámasele circulación do campo magnético á integral, ó longo de certa traxectoria, do produto escalar do vector campo magnético, $\vec{B}$, polo elemento de traxectoria $d\vec{l}$. Representase como $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$. **Teorema de Ampere:** “A circulación do campo magnético sobre calquera curva pechada C é igual ao produto da permeabilidade μ_0 pola intensidade de corrente eléctrica I_C que atravesa a superficie limitada pola curva pechada:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_C$$

Para nós, a maioría de problemas serán baixo campo magnético constante, polo tanto pode saír fora da integral, e se integramos:

$$\vec{B} \oint d\vec{l} = \vec{B} \cdot \vec{l} = B \cdot l \cdot \cos 0^\circ = B \cdot l$$

Para coñecer a dirección do campo podemos aplicar outra regra, a da “man dereita”: o dedo polgar indica a dirección da intensidade de corrente e os outros catro dedos, o sentido do campo magnético creado. NOTA: μ_0 é a permeabilidade, e ten un valor de $4\pi 10^{-7} \text{ TmA}^{-1}$.



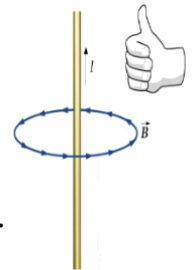
1.4.1. Aplicacións:

- Campo creado por un fío infinito

Se aplicamos o teorema de Ampere a un fío infinito, teríamos que:

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

onde r é o valor da distancia do punto onde se quere calcular o campo ate o fío infinito.



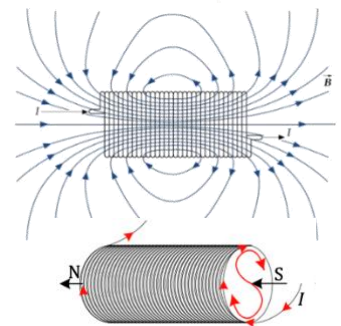
- Campo creado por un solenoide

Un solenoide non é máis ca un condutor envolvido cunha densidade de voltas moi altas. Coma se fora un conxunto de espiras moi elevado. O campo magnético calculado a través do teorema de Ampere resulta:

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I$$

onde N é o número de voltas do solenoide, l é a lonxitude do solenoide e I é a intensidade de corrente que pasa por ela.

(o campo é nulo no exterior do solenoide e constante no interior)

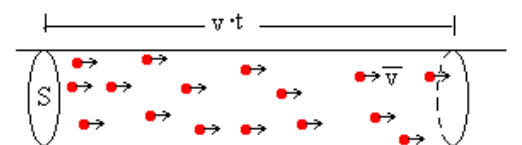


1.5. Forza magnética sobre unha corrente rectilínea.

Unha corrente eléctrica rectilínea non é máis ca un conxunto de cargas que se moven e, polo tanto, se situamos esa corrente nun campo magnético, aparecerá unha forza que actuará sobre a corrente. Tomaremos un elemento de corrente con intensidade I . A carga que transporta nun tempo t , será: $q = I \cdot t$.

Se a velocidade que levan os electróns é constante, v , podemos ver que a lonxitude que recorren no tempo t será: $l = v \cdot t$. Polo tanto, aplicando a ecuación de forza magnética explicada anteriormente: $\vec{F} = q(\vec{v} \wedge \vec{B})$, con módulo: $F = q \cdot v \cdot B \sin \alpha$.

Pero tendo en conta que $q = I \cdot t$, teremos: $\vec{F} = I t (\vec{v} \wedge \vec{B})$



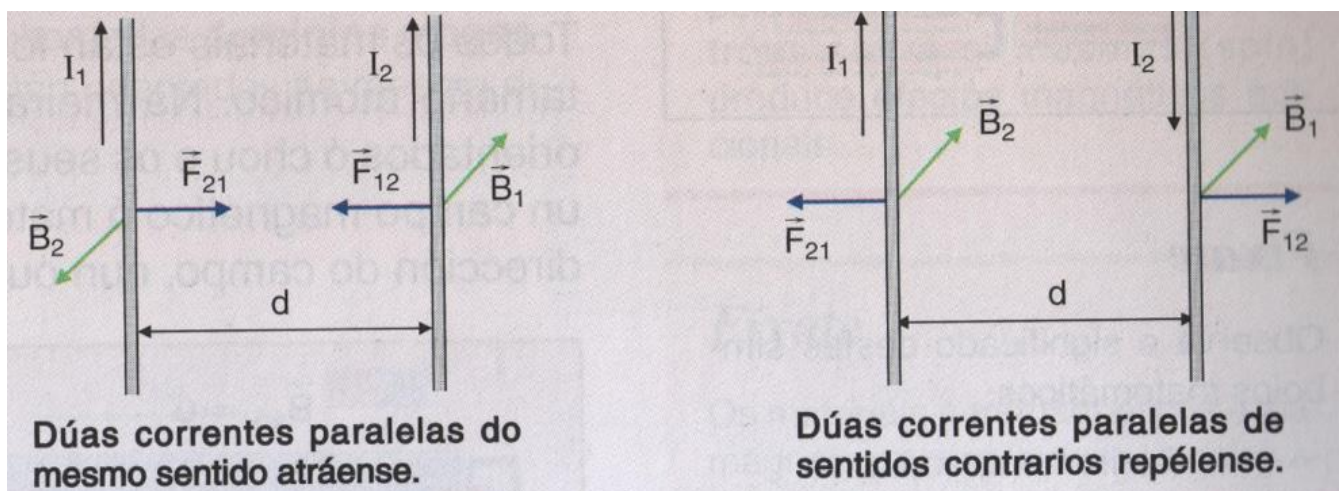
E introducindo a constante t dentro do produto vectorial: $\vec{F} = I (t\vec{v} \wedge \vec{B})$, ou o que é o mesmo:

$$\vec{F} = I (\vec{l} \wedge \vec{B}), \text{ con módulo: } F = I \cdot l \cdot B \cdot \text{sena}\alpha$$

onde o ángulo α é o formado por $\vec{l}$ e $\vec{B}$.

1.6. Forza magnética entre dúas correntes rectilíneas indefinidas: Definición internacional de amperio.

Como xa vimos, cando existe unha corrente eléctrica aparece un campo no seu entorno. Polo tanto se temos dúas correntes paralelas próximas, cada unha provocará na outra un campo magnético, de forma que cada unha das correntes verase afectada por unha forza que será atractiva ou repulsiva segundo sexas os sentidos das súas correntes. Xa sabemos calcular o valor do campo creado por unha corrente sobre a outra: $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$, e tamén a forza que exerce un condutor sobre o outro: $F_{12} = I_2 l B_1$. Pero ás veces interesante tamén calcular a forza por unidade de lonxitude, que sería: $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$. Sendo, para todos os casos, d = distancia entre unha corrente e a outra.

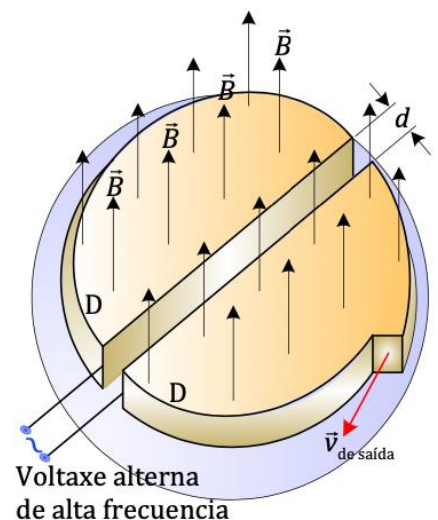


1.7. Ciclotrón.

Acelerador de cargas eléctricas, que chegan a adquirir grandes velocidades.

Formado por dúas caixas metálicas ocas e semicirculares, separadas unha distancia d , entre as que se establece unha diferenza de potencial que se alterna no tempo que acelera a carga cunha enerxía cinética igual a $Q \cdot \Delta V$. Esta entra nunha das caixas en dirección perpendicular a un campo magnético uniforme B , adquirindo un movemento circular uniforme de radio $R = \frac{mv}{qB}$.

Cando a partícula describe media circunferencia, volveuse atopar na zona de separación das caixas, é de novo acelerada, incrementando a súa enerxía cinética nunha nova cantidade $Q \cdot \Delta V$ e adquire unha nova velocidade describindo unha nova circunferencia. Este proceso repítese ata que a partícula acada a velocidade desexada e sae tanxencialmente.



1.8. Conceptos básicos da indución electromagnética.

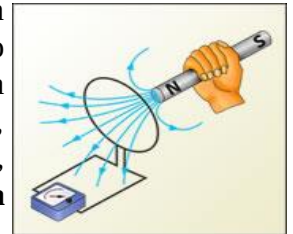
Introdución histórica: Dende a experiencia de Oersted sobre a posibilidade de crear un campo magnético a partir dun eléctrico, houbo intentos de facer xusto o contrario: crear campos eléctricos a partir de magnéticos. Foi Michael Faraday quen conseguir realizar unha serie de experimentos (movemento dun imán no interior dunha bobina, peche e apertura dun circuíto eléctrico) que nos axudan a comprender o fenómeno da *indución electromagnética*: A indución electromagnética consiste na

aparición dunha corrente eléctrica nun circuíto cando varía o número de liñas de campo magnético que o atravesan.

Para comprender a indución electromagnética, é necesario ter claro o concepto de *fluxo magnético*, Φ : o fluxo magnético a través dunha superficie é unha medida do número de liñas de campo que atravesan esa superficie. Calcúlase como $\Phi = \int \vec{B} \cdot \vec{S}$. En xeral, nós teremos campos constantes e superficies tamén concretas, de formas que poderemos calcular o fluxo como $\Phi = BS \cos \alpha$, onde α é o ángulo que forman B e S. As unidades de fluxo son os weber (Wb), que coinciden con $T \cdot m^2$. Ter en conta, para rematar, que se o fluxo calcúlase para unha bobina, hai que calcular o fluxo que se produce a través de cada unha das súas espiras e sumalas: $\Phi = NBS \cos \alpha$.

1.9. Forza electromotriz inducida. Lei de Lenz-Faraday.

Das experiencias de Faraday dedúcese que a indución de corrente eléctrica nun circuíto é debido á *variación de fluxo magnético* a través do mesmo circuíto. Como o fluxo ven dado por $\Phi = BS \cos \alpha$, podemos inducir unha corrente variando calquera dos tres factores que interveñen na expresión matemática, isto é: o campo magnético, a superficie ou o ángulo que forman. Para determinar o sentido da corrente inducida, aplícase a *lei de Lenz*: **O sentido da corrente inducida é tal que se opón á causa que a produce.**



Como vemos, un campo magnético variable é capaz de crear unha corrente eléctrica. Para cuantificar este fenómeno usaremos a lei de Faraday. Para isto traballaremos coa **forza electromotriz inducida** ou **fem inducida**. Experimentalmente vemos que $\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt}$, é dicir que a forza electromotriz inducida nun circuíto é igual á velocidade con que varía o fluxo magnético a través dese circuíto, cambiada de signo. O signo negativo non fai máis que referencia á lei de Lenz, xa que o sentido da intensidade opónse á causa que a provoca. Para coñecer a intensidade da corrente inducida debemos coñecer a fem inducida e a resistencia do circuíto, aplicando a lei de Ohm: $\varepsilon = IR$, onde I é a intensidade e R a resistencia. A experiencia de Henry non entra este ano nas recomendacións da CIUG para Selectividade.

1.10. Definición de coeficiente de autoindución dunha bobina (relación Fluxo/Intensidade). Unidades.

Existe un fenómeno tremendamente interesante relacionado coa indución electromagnética: a chamada autoindución. Isto é, cando a intensidade de corrente que percorre un circuíto eléctrico varía, o campo magnético creado e o fluxo magnético a través do propio circuíto tamén varía, de forma que aparece unha forza electromotriz inducida (normalmente chamada forza contraelectromotriz). Esta forza contraelectromotriz autoinducida depende da variación do fluxo magnético. O fluxo é directamente proporcional á intensidade I que percorre o circuíto. $\Phi = LI$

A constante de proporcionalidade, L, recibe o nome de coeficiente de autoindución ou indutancia e depende das características físicas do circuíto. Como a variación de intensidade no circuíto, provoca a variación no fluxo, acabamos escribindo que: $\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt}$, polo tanto: $\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$

As unidades no sistema internacional da indutancia é o henry (H).

Para unha bobina de N espiras, lonxitude l e superficie S, podíamos calcular: $B = \mu_0 \frac{N}{l} I$, tendo en conta que

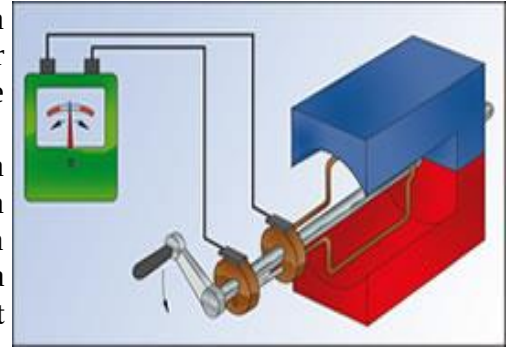
$\Phi = NBS$ e que $\Phi = LI$, podemos poñer que $NBS = LI$, e substituíndo o valor de B, e despegando a indutancia, temos que $L = \mu_0 \frac{N^2}{l} S$

2. Produción de correntes alternas. Descrición dun xerador elemental.

Antes do descubrimento da indución electromagnética, a única fonte de enerxía era a pila ou batería, como a Volta ou a Daniell. Gracias á indución, gran cantidade de traballo mecánico pode ser transformado en enerxía de forma económica. Unha das principais aplicacións da indución electromagnética é a xeración de corrente eléctrica a través de xeradores ou dinamos.

Un xerador eléctrico é calquera dispositivo que transforma unha determinada forma de enerxía en enerxía eléctrica. Se o xerador produce corrente continua chámase dinamo, e se produce corrente alterna, chámase alternador.

Como vemos no debuxo, consta de un imán e unha espira que xira dentro do campo magnético creado polo imán. A espira ten unha superficie S , e ao xirar, o ángulo que forma os vectores B e S van cambiando, de forma que o fluxo $\Phi = BS \cos \alpha$ varía. Se a espira xira con velocidade constante ω , implica que o ángulo $\alpha = \omega \cdot t$ (cinemática angular!)



Entón, o fluxo $\Phi = BS \cos \omega t$. Segundo a lei de Faraday que acabamos de estudar, créase unha forza electromotriz inducida $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$, e como o fluxo é o acabamos de calcular, podemos derivar a ecuación e escribir que $\varepsilon = BS\omega \sin(\omega t)$. Ademais, debemos ter en conta que se o $\sin \omega t = 1$, $\varepsilon = BS\omega$ será a forza electromotriz máxima. Por último, en moitos exercicios traballamos co concepto frecuencia, que como é lóxico pensar será a mesma que a da espira: $f = \frac{\omega}{2\pi}$.

PROBLEMAS PROPOSTOS CIUG

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

a) Como debe ser a dirección do protón con respecto ao campo magnético? Por que?

b) Calcula o raio da traxectoria. $(7,2 \cdot 10^{-2}\text{ m})$

c) Obtén a frecuencia coa que xira. $(7,7 \cdot 10^6\text{ Hz})$

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

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

a) O raio da órbita que describe. $(2,3 \cdot 10^{-5}\text{ m})$

b) O número de voltas que dá en $0,01\text{ s}$. $(142 \cdot 10^8\text{ voltas})$

c) A intensidade dun campo eléctrico que anule o efecto do campo magnético. (-10^6 i (N/C))

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

23. Nunha rexión do espazo na que existe un campo eléctrico de $100\text{ N}\cdot\text{C}^{-1}$ 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? (10^5 m/s)

c) Que enerxía cinética deberían ter nesas condicións? $(8 \cdot 10^{-18}\text{ J}; 4,6 \cdot 10^{-21}\text{ J})$

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

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, unha posible dirección e sentido da forza, velocidade e campo magnético implicados.

b) Calcula o raio da traxectoria. $(3,4 \cdot 10^{-2}\text{ m})$

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

25. No interior dun tubo de TV, un electrón do feixe é acelerado por unha diferenza 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? $(4,0 \cdot 10^{-3} \text{ T})$

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

26. Un ciclotrón para acelerar protóns ten un campo magnético de intensidade 0,4 teslas, e o seu raio 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. $(3,1 \cdot 10^7 \text{ m/s})$

c) Que voltaxe faría falta para que os protóns adquirisen esa velocidade partindo do repouso? $(-5,0 \cdot 10^6 \text{ V})$

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

27. Sexan dous fíos metálicos moi longos, rectilíneos e paralelos, separadas por unha distancia de 10 cm e polos que circulan sendas 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. $(4,0 \cdot 10^{-6} \text{ T})$

b) Na rexión entre os condutores, a que distancia do primeiro fío é cero o campo magnético? $(0,067 \text{ m})$

c) Acha a forza magnética por unidade de lonxitude que se exerce sobre a corrente de 2 A. $(4 \cdot 10^{-6} \text{ N/m})$

Dato: $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ (SI)}$

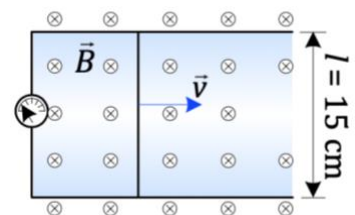
28. A Terra exerce un campo magnético de intensidade $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$. Un anaco de arame de alta tensión, en dirección suroeste-nordeste e formando un ángulo de 60° co Ecuador, espállase entre dúas torres separadas 150 m e transporta unha corrente de 1 kA.

a) Calcula a forza á que se ve sometido. Inflúe no resultado o sentido no que circula a corrente? $(3,75 \text{ N})$

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.

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 a dentro do papel. Se o lado móbil se despraza cunha velocidade constante de 2 m/s, cal será a forza electromotriz inducida na espira? $(-0,15 \text{ V})$



CUESTIÓN PROPOSTAS CIUG

9. Un positrón de carga $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ entra nun campo magnético $\vec{B} = 0,1 \vec{j} \text{ (T)}$. Se a velocidade do positrón é $\vec{v} = 10^5 \vec{i} \text{ (m/s)}$, 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) $1,6 \cdot 10^{-15} \vec{k}$

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.

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.

12. Nunha habitación existe un campo magnético que apunta verticalmente cara 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.

13. Se nunha rexión do espazo 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.

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

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

a) Canto máis groso sexa o condutor.

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

c) Canto máis próximo estea ao punto exterior.

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 mutuas se as correntes son da mesma magnitude.

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.

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.

19. Polo fío condutor da figura circula unha corrente continua no sentido indicado. Inducirase unha corrente na espira rectangular se:

a) A espira se move cara a dereita.

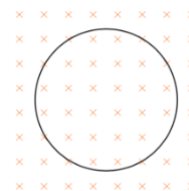
b) A espira se move cara arriba paralelamente ao fío.

c) A espira non se move.



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



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.