Liceo Scientifico "Severi"
Salerno

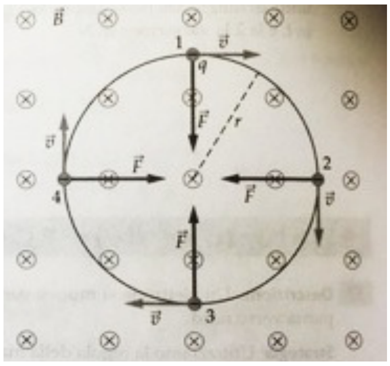
VERIFICA SCRITTA
FISICA

Docente: Pappalardo Vincenzo
Data: 28/10/2025 Classe: 5B

1. Esercizio

Molto al di sopra della superficie terrestre, le particelle cariche (come gli elettroni e i protoni) possono rimanere intrappolate nel campo magnetico terrestre in regioni note come fasce di Van Allen. Un tipico elettrone di queste fasce ha un'energia di 45 keV (1eV=1,6x10^{-19}J) e si muove su un'orbita approssimativamente circolare con un raggio medio di 220 m. Calcolare l'intensità del campo magnetico terrestre nella zona in cui orbita l'elettrone.

Soluzione



La forza magnetica (forza di Lorentz) che agisce su un elettrone che viaggia a velocità costante, lo costringe a percorrere una circonferenza, il cui raggio è dato da:

$$r = \frac{m_e v}{eB}$$

da cui è possibile ricavare il modulo del campo magnetico:

$$B = \frac{m_e v}{er} = \frac{9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 1{,}26 \cdot 10^{8}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 220} = 3{,}3 \cdot 10^{-6} T = 3{,}3\ \mu T$$

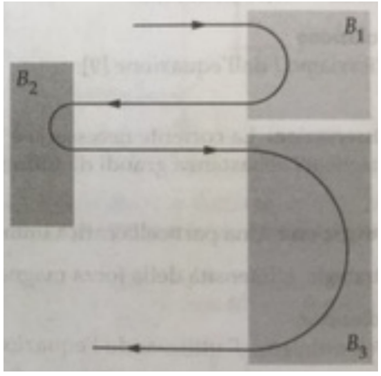
dove la velocità dell'elettrone è stata ricavata dall'espressione dell'energia cinetica:

$$K = \frac{1}{2} m_e v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2K}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 45 \cdot 10^{3} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{9{,}11 \cdot 10^{-31}}} = 1{,}26 \cdot 10^{8}\ m/s \qquad 1\text{eV}=1{,}6\text{x}10^{-19}\text{J}$$

Considerazione importante: Poiché la velocità degli elettroni è circa la metà di quella della luce, gli effetti relativistici diventano importanti e non si possono trascurare. Pertanto, applicando la meccanica relativistica si trova che la velocità di un elettrone che ha energia pari a 45 keV è $1{,}18 \times 10^8$ m/s a cui corrisponde un campo magnetico di 3,1 μT.

2. Esercizio

Un protone attraversa tre regioni caratterizzate da tre distinti campi magnetici uniformi B_1, B_2, B_3, seguendo la traiettoria indicata in figura. In ognuna delle tre regioni il campo magnetico è perpendicolare alla pagina e il protone percorre una semicirconferenza completa. a) Per ogni campo indica se è diretto verso l'interno o l'esterno della pagina; b) Supponi che la velocità iniziale del protone diminuisca. Il tempo passato in ognuna delle tre regioni aumenta, diminuisce o rimane lo stesso? Giustifica la risposta.



SOLUZIONE

a) Grazie alla regola della mano destra deduciamo che: $\mathbf{B}_1$ è uscente dalla pagina, $\mathbf{B}_2$ è entrante nella pagina, $\mathbf{B}_3$ è uscente dalla pagina.
b) Tenendo presente che il raggio della traiettoria è dato da:

$$r = \frac{mv}{qB}$$

allora il tempo in cui il protone rimane in ciascuna regione è:

$$t = \frac{L_{semicirc}}{v} = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi \frac{mv}{qB}}{v} = \frac{\pi m}{qB}$$

cioè è indipendente dalla velocità v del protone. Pertanto, il tempo passato in ciascuna regione rimane lo stesso se la velocità del protone diminuisce.

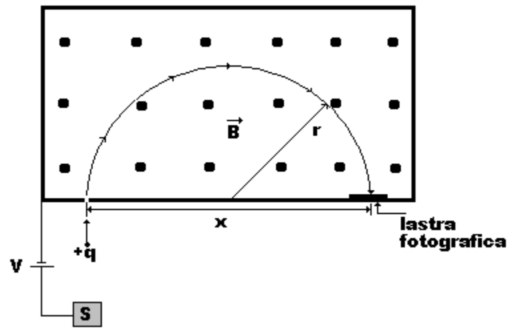
3. Esercizio

Trovare il raggio della traiettoria circolare, compiuta in uno spettrometro di massa di campo magnetico costante B=0,15 T, delle seguenti particelle, tutte accelerate ad un'energia cinetica E_C=1 KeV: a) atomo di idrogeno ionizzato

($massa_{protone}=1,67\cdot10^{-27}$ Kg, carica=$1,6\cdot10^{-19}$ C); b) atomo di elio, ionizzato una volta; c) nucleo di elio doppio ionizzato (particella alfa).

Soluzione

Lo spettrometro di massa è un dispositivo ad alta precisione che consente di separare particelle cariche che hanno piccole differenze di massa (per esempio isotopi), per cui il raggio delle traiettorie da esse descritte saranno diversi.



a) Dalla definizione dell'energia cinetica ricaviamo la velocità:

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_C}{m}} \quad (1) \qquad \text{dove: } 1\text{ eV} = 1,602\cdot10^{-19}\text{ J}$$

Il raggio della traiettoria circolare compiuta dall'atomo di idrogeno ionizzato nello spettrometro lo ricaviamo dall'analisi del moto in un campo magnetico costante. L'accelerazione centripeta acquistata dalla particella carica è legata alla forza magnetica che essa subisce nel suo moto all'interno del campo magnetico B attraverso il 2° principio della dinamica:

$$F = ma_C \Rightarrow qvB = m\frac{v^2}{r} \qquad \text{da cui si ricava : } \quad r = \frac{mv}{qB} \quad (2)$$

Sostituendo nella (2) la (1) otteniamo:

$$r = \frac{m\sqrt{\frac{2E_C}{m}}}{qB} = \frac{\sqrt{2mE_C}}{qB} \quad (3)$$

Sostituendo i valori numerici si ottiene:

$$r_{H^+} = \frac{\sqrt{2\cdot1,67\cdot10^{-27}\cdot10^3\cdot1,602\cdot10^{-19}}}{1,6\cdot10^{-19}\cdot0,15} = 0,0304\ m = 3,04\,cm$$

b) La massa dell'atomo di elio è 4 volte maggiore di quella dell'atomo di idrogeno per cui il raggio della traiettoria circolare descritta, in base alla (1), è 2 volte più grande:

$$r_{H_e^+} = \frac{\sqrt{2 \cdot 4mE_C}}{qB} = 2r_{H^+} = 2 \cdot 3{,}04 = 6{,}08\,cm$$

c) La carica della particella alfa è doppia rispetto alla carica dell'atomo di idrogeno ionizzato ed ha una massa 4 volte più grande, per cui, in base alla (3) si ottiene:

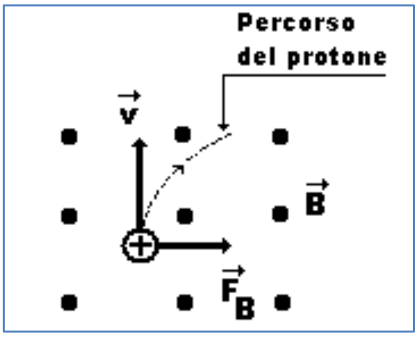
$$r_\alpha = \frac{\sqrt{2 \cdot 4mE_C}}{2qB} = r_{H^+} = 3{,}04\,cm$$

4. Esercizio

Un campo magnetico uniforme B di intensità 1,2 mT è diretto perpendicolarmente al piano verso l'esterno. Un protone ($m=1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg) con energia cinetica di 5,3 MeV entra in tale campo muovendosi orizzontalmente da sud a nord. Calcolare l'accelerazione subita dal protone.

Soluzione

Dal secondo principio della dinamica si ha:



$$a = \frac{F_B}{m}$$

dove F_B è la forza magnetica (forza di Lorentz) a cui è soggetto il protone:

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \otimes \vec{B}$$

il cui verso è quello indicato in figura (regola della mano destra) e il modulo:

$$F_B = qvBsen\alpha$$

La forza di deflessione magnetica dipende dalla velocità, che non è nota, che è legata all'energia cinetica del protone:

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_C}{m}} = 3{,}2 \cdot 10^7\,m/s$$

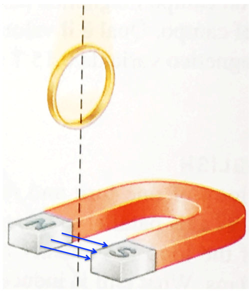
per cui:

$$F_B = qvBsen90° = 6{,}1 \cdot 10^{-15}\, N$$

Pertanto in definitiva:

$$a = \frac{6{,}1 \cdot 10^{-15}}{1{,}67 \cdot 10^{-27}} = 3{,}7 \cdot 10^{12}\, m/s^2$$

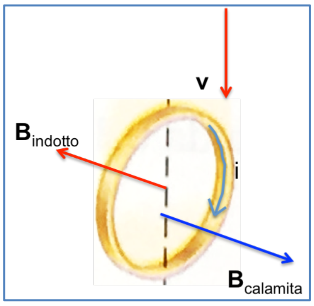
5. Quesito



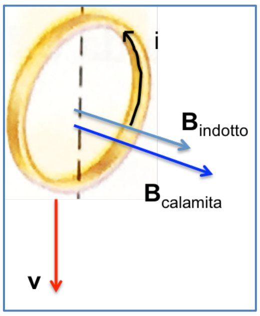
Una spira conduttrice è lasciata cadere fra i poli di un magnete a ferro di cavallo. Che verso avrà la corrente nel caso in cui la spira si trova al di sopra del magnete e quando si trova sotto?

Soluzione

Quando la spira è sopra il magnete e viene lasciata cadere, il campo magnetico che la attraversa aumenta perchè aumenta il numero di linee di campo che la attraversano. Pertanto, in accordo con la legge di Lenz, la corrente nella spira deve fluire in senso orario affinchè possa produrre un campo indotto tale da opporsi all'aumento del campo.

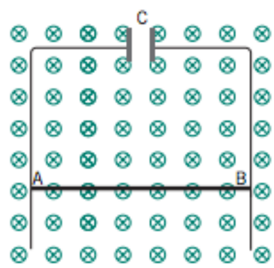


Quando la spira è sotto il magnete, il campo magnetico che la attraversa diminuisce perchè diminuisce il numero di linee di campo che la attraversano. Pertanto, in accordo con la legge di Lenz, la corrente nella spira deve fluire in senso antiorario affinchè possa produrre un campo indotto nello stesso verso di quello della calamita affinchè contrasti la sua diminuzione.



6. Esercizio

Il circuito è immerso in un campo magnetico B=1,1 T diretto perpendicolare al circuito e con verso entrante nel foglio. La sbarretta conduttrice AB che chiude il circuito, inizialmente in quiete, di massa m=0,10 kg e lunga L=1,0 m, è libera di scivolare senza attrito sotto l'azione del proprio peso. La capacità del condensatore è C=0,80 F. Calcolare



l'accelerazione di gravità con cui cade la sbarretta (trascura le resistenze e l'attrito dell'aria).

soluzione

v è la velocità di caduta dell'asta,

$\Delta\Phi = Blv\Delta t$ quindi $f_{em} = Blv$.

Ma $f_{em} = \dfrac{q}{C}$, perciò $Blv = \dfrac{q}{C}$.

Considerando le variazioni nel tempo di v e q abbiamo:

$$Bl\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{C\Delta t},$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t},$$

$i = BlaC$.

L'equazione del moto è $ma = mg - ilB$, da cui $a = g - \dfrac{ilB}{m}$.

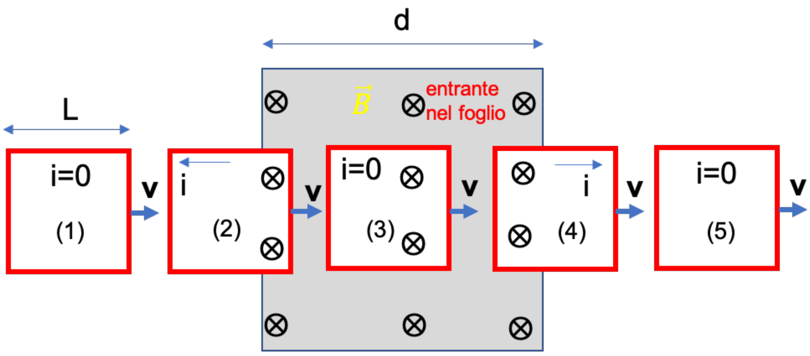
Sostituendo i,

$$a = \frac{g}{1+\dfrac{CB^2l^2}{m}} = \frac{9{,}8\ \text{m/s}^2}{1+\dfrac{(0{,}80\ \text{F})\times(11\ \text{T})\times(1{,}0\ \text{m})^2}{1{,}0\ \text{kg}}} = 1{,}0\ \text{m/s}^2$$

7. Esercizio

Una spira quadrata di lato L=20 cm e resistenza R=50 Ω, si muove a velocità costante di modulo v=5 m/s. La spira entra in una zona di larghezza d=30 cm, in cui agisce un campo magnetico di modulo B=5 T e diretto perpendicolarmente al piano della spira e verso entrante. Calcolare: 1) il verso della corrente indotta nella spira nelle varie fasi del moto; 2) in quali regioni agisce una forza sulla spira, il suo verso ed intensità; 3) l'energia totale dissipata nella resistenza dopo che la spira è completamente uscita dalla zona con campo magnetico.

Soluzione



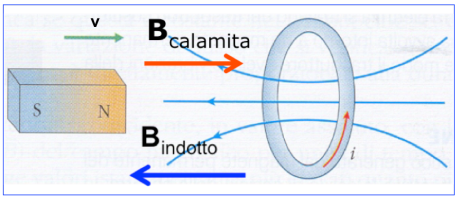
1) Fino a quando la spira, durante il suo movimento, è fuori dalla zona in cui agisce il campo magnetico (posizione 1 e 5), poiché attraverso la sua superficie non vi è nessuna variazione di flusso, non si origina nessuna corrente indotta. Invece,

durante la fase del moto in cui la spira comincia a entrare nel campo magnetico (posizione 2), per la legge dell'induzione elettromagnetica:

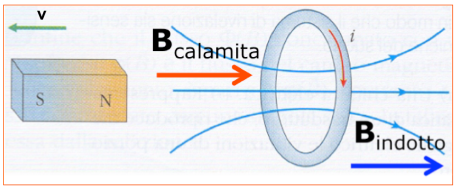
$$f_{em} = -\frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t}$$

vi è una variazione di flusso e quindi una f_{em} indotta, tale da generare una corrente indotta nella spira:

$$i = \frac{f_{em}}{R} = -\frac{1}{R}\frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t} \qquad (1)$$



In accordo con la legge di Lenz, la corrente indotta deve fluire in modo tale da creare un campo magnetico tale da opporsi alla causa che l'ha generata, ossia alla variazione di flusso del campo magnetico. Per analogia, supponiamo che la variazione di flusso sia creata da una calamita in moto. Ebbene, quando la spira entra nel campo magnetico, poiché il flusso attraverso la sua superficie aumenta, la corrente indotta dovrà fluire in senso antiorario affinchè il campo indotto possa opporsi all'aumento del flusso (regola mano destra). Quando la spira è tutta interna al campo magnetico, non essendoci variazione di flusso, non c'è corrente indotta (posizione (3). Infine, durante la fase di uscita dal campo (posizione 4), ossia la spira è in allontanamento, il flusso magnetico dimunuisce, per cui c'è di nuovo una corrente indotta che fluirà in senso orario affinchè il campo indotto possa opporsi alla diminuzione del flusso.



Come ampiamente visto nei problemi precedenti, la f_{em} indotta può essere espressa in funzione della velocità:

$$f_{em} = BLv$$

e, quindi, la corrente indotta vale:

$$i = \frac{f_{em}}{R} = \frac{BLv}{R} = \frac{5 \cdot 0{,}2 \cdot 5}{50} = 0{,}1\,A$$

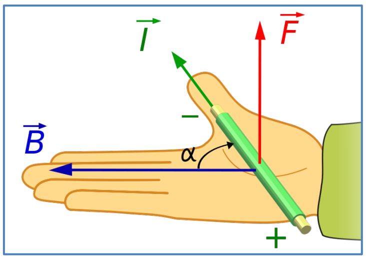
2) Su un conduttore L percorso da corrente **I** e immerso in un campo magnetico **B**, agisce una forza **F** data dal seguente prodotto vettoriale:

$$\vec{F} = L\vec{I} \otimes \vec{B} \qquad (2)$$

la cui direzione e verso è data dalla regola della mano destra e il modulo da:

$$F = BILsen\alpha$$

Applicando la (2) alla nostra spira, e tenendo presente che la corrente indotta, e quindi il campo indotto, si genera solo quando la spira entra ed esce dal campo magnetico, allora otteniamo che la forza agisce quando la spira entra ed esce ed è sempre opposta alla velocità. Pertanto:



$$F = BiL = B\frac{BLv}{R}L = \frac{B^2L^2v}{R} = \frac{0{,}5^2 \cdot 0{,}2^2 \cdot 5}{50} = 0{,}001\,N = 1\,mN \quad (3)$$

$$\vec{F} = -1\vec{u}_v$$

3) L'energia totale dissipata nella resistenza della spira è pari al lavoro compiuto dalle forze esterne che devono bilanciare la forza (3) per mantenere costante la velocità (1° principio della dinamica):

$$W = -2F \cdot L = -2 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}2 = 0{,}4 \cdot 10^{-3}\,J = 0{,}4\,m$$