

AA 2023-2024 - Fisica - CdL Ingegneria e Scienze Informatiche

Luigi Guiducci - Esercitazioni

Moto delle particelle cariche

1) In un esperimento, osservo un elettrone muoversi con velocità $v = 0.03 \text{ m/s}$ perpendicolare a un campo magnetico uniforme di intensità $B = 4.9 \mu\text{T}$ e ne misuro il raggio della traiettoria circolare ottenendo $r = 10 \text{ nm}$. Che valore del rapporto e/m , carica diviso massa dell'elettrone, ottengo dal mio esperimento?

$$[e/m \simeq 1.7 \times 10^{11} \text{ C/Kg}]$$

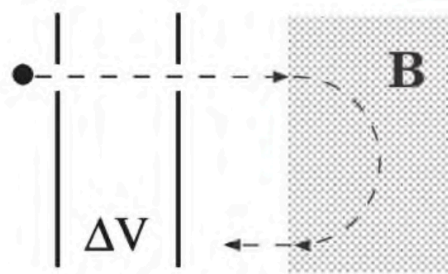
2) Un protone (carica $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$, massa $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$),

inizialmente fermo, attraversa le armature di un condensatore piano, tenute ad una differenza di potenziale ΔV .

Successivamente entra in un campo magnetico uniforme, come in figura, dove B è ortogonale alla velocità del protone. Per mezzo di un rivelatore, si riesce a misurare il raggio della traiettoria semicircolare compiuta dal protone nel campo magnetico, $R = 10 \text{ mm}$, e il tempo impiegato a percorrerla, $T = 79 \text{ ns}$. Si calcolino:

- a) l'intensità ed il verso del campo magnetico B ;
- b) la differenza di potenziale ΔV tra le armature del condensatore

$$[B \simeq 0.415 \text{ T} ; \quad \Delta V \simeq 825 \text{ V}]$$



Forza magnetica su un conduttore percorso da corrente

3) Una regione di spazio viene riempita con un campo magnetico uniforme. Una spira quadrata di massa m percorsa da una corrente I in senso antiorario è immersa nel campo magnetico, perpendicolare al piano della spira e di verso entrante, in modo che la metà destra della superficie delimitata dalla spira sia attraversata nel campo, che è invece zero nell'altra metà. La corrente nella spira viene mantenuta costante per tutto il tempo. Dopo quanto tempo la spira esce dal campo magnetico?

$$[t^* = \sqrt{\frac{m}{IB}}]$$

4) Un filo di lunghezza l viene posto al centro di un solenoide di lunghezza L , avente N spire in cui scorre una corrente I_0 . Nel filo viene fatta scorrere una corrente I_1 . A quale forza F_{\parallel} è sottoposto il filo se esso è disposto parallelamente all'asse del solenoide? A quale forza F_{\perp} se esso è invece disposto perpendicolarmente all'asse?

$$[F_{\parallel} = 0 ; \quad F_{\perp} = \mu_0 I_1 I_0 l \frac{N}{L}]$$

Corrente e campo magnetico, legge di Ampere

5) Un filo conduttore rettilineo infinito è vincolato in posizione orizzontale e percorso da una corrente $i = 10 \text{ A}$. Un secondo filo rettilineo e infinito è parallelo al primo, percorso dalla stessa corrente nello stesso verso, è posto inferiormente al primo, libero di muoversi. A che distanza il secondo filo è in posizione di equilibrio, se la sua densità lineare è $\lambda = 1 \text{ g/m}$?

$$[d = \frac{\mu_0 i^2}{2\pi \lambda g} \simeq 2.04 \times 10^{-3} \text{ m}]$$

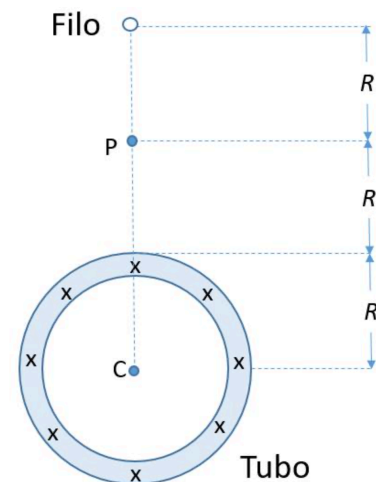
6) Tre fili conduttori infinitamente lunghi sono disposti orizzontalmente e paralleli tra loro. Il filo più in basso, che chiameremo B , dista $d_{BC} = 5.0 \text{ cm}$ dal filo centrale, che chiameremo C . Il filo più in alto, che chiameremo A dista $d_{AC} = 7.0 \text{ cm}$ dal filo centrale. Nel filo C scorre una corrente e nel filo B scorre una corrente verso destra con intensità $I_B = 10 \text{ mA}$. Si osserva che il filo C è in equilibrio. Si ricavi la corrente I_A che scorre nel filo A , e il suo verso. (NB si immaginino i fili poggiati su un piano orizzontale privo di attrito, ovvero si trascurino del tutto possibili effetti della forza peso).

$$[I_A \simeq 14 \text{ mA}]$$

7) Due fili di lunghezza $L = 5.0 \text{ m}$ sono posti in direzione verticale, paralleli e a distanza di $d = 2.0 \text{ m}$. Il filo di sinistra è caricato con una densità lineare di carica $\lambda = 3.0 \mu\text{C/cm}$; nel filo di destra scorre una corrente di intensità $I = 1.0 \text{ A}$ verso il basso. Il filo di sinistra viene messo in moto con velocità verso l'alto di modulo $v_0 = 2.0 \text{ m/s}$. Che forza sente il filo di sinistra?

$$[F \simeq 3 \times 10^{-10} \text{ N}]$$

8) Un lungo tubo circolare, con raggio esterno $R = 2.6 \text{ cm}$, è percorso da una corrente (uniformemente distribuita) $I = 8.0 \text{ mA}$ con verso entrante nel piano della pagina. Un filo corre parallelo al tubo a una distanza di $3R$ misurata fra i loro assi (vedi figura). Inizialmente nel filo non scorre corrente. In questa condizione, calcolare: l'intensità del campo magnetico B_P nel punto P , specificando anche direzione e verso con riferimento alla figura; l'intensità del campo magnetico B_C nel centro C del tubo; se si fa passare nel filo una corrente I' entrante nel piano della pagina, si trovi il valore di I' per cui il campo magnetico totale in P è uguale e opposto a quello presente in C .



$$[B_P = \frac{\mu_0 I}{2\pi(2R)} \simeq 3.1 \times 10^{-8} \text{ T} ; \quad B_C = 0 ; \quad I' \simeq 3.0 \text{ mA}]$$

SOLUZIONI

Moto delle particelle cariche

1) In un esperimento, osservo un elettrone muoversi con velocità $v = 0.03 \text{ m/s}$ perpendicolare a un campo magnetico uniforme di intensità $B = 4.9 \mu\text{T}$ e ne misuro il raggio della traiettoria circolare ottenendo $r = 10 \text{ nm}$. Che valore del rapporto e/m , carica diviso massa dell'elettrone, ottengo dal mio esperimento?

$$[e/m \simeq 1.7 \times 10^{11} \text{ C/Kg}]$$

La forza di Lorentz è una forza centripeta, dunque posso scrivere la seconda legge di Newton come:

$$e v B = m \frac{v^2}{r}$$

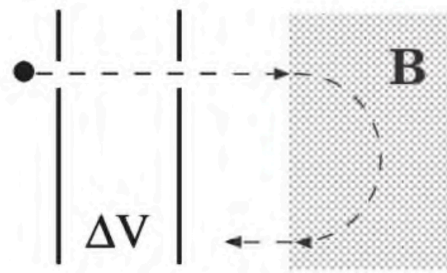
da cui ottengo immediatamente

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{rB} \simeq 1.7 \times 10^{11} \text{ C/Kg}$$

2) Un protone (carica $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C, massa $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg),

inizialmente fermo, attraversa le armature di un condensatore piano, tenute ad una differenza di potenziale ΔV .

Successivamente entra in un campo magnetico uniforme, come in figura, dove B è ortogonale alla velocità del protone. Per mezzo di un rivelatore, si riesce a misurare il raggio della traiettoria semicircolare compiuta dal protone nel campo magnetico, $R = 10$ mm, e il tempo impiegato a percorrerla, $T = 79$ ns. Si calcolino:



a) l'intensità ed il verso del campo magnetico B ;

b) la differenza di potenziale ΔV tra le armature del condensatore

$$[B \simeq 0.415 \text{ T} ; \quad \Delta V \simeq 825 \text{ V}]$$

a) Per il moto nel campo magnetico, la seconda legge di Newton dice

$$mv^2/R = evB \implies B = \frac{mv}{eR}$$

e per quel che riguarda la velocità di percorrenza della semicirconferenza

$$v = \pi R/T$$

Quindi:

$$B = \frac{\pi m_p}{eT} \simeq 0.415 \text{ T}$$

Nel tratto tra le armature, il protone acquista energia cinetica pari alla differenza di energia potenziale:

$$\Delta K = \frac{1}{2} m_p v^2 = e \Delta V \implies \Delta V = \frac{m_p v^2}{2e}$$

e sostituendo la velocità trovata in precedenza, si ha

$$\Delta V = \frac{\pi^2 m_p R^2}{2eT^2} \simeq 825 \text{ V}$$

Visto che il protone ha carica positiva, il campo magnetico nella figura riportata deve essere diretto verso il lettore.

Forza magnetica su un conduttore percorso da corrente

3) Una regione di spazio viene riempita con un campo magnetico uniforme. Una spira quadrata di massa m percorsa da una corrente I in senso antiorario è immersa nel campo magnetico, perpendicolare al piano della spira e di verso entrante, in modo che la metà destra della superficie delimitata dalla spira sia attraversata nel campo, che è invece zero nell'altra metà. La corrente nella spira viene mantenuta costante per tutto il tempo. Dopo quanto tempo la spira esce dal campo magnetico?

$$[t^* = \sqrt{\frac{m}{IB}}]$$

Chiamiamo L il lato della spira. La forza totale agente sulla spira sarà

$$F = IBL$$

Dunque, per la seconda legge di Newton

$$ma = IBL \implies a = \frac{IBL}{m}$$

Dato che la spira parte da ferma la legge oraria del moto sarà

$$s(t) = \frac{1}{2} \frac{IBL}{m} t^2$$

La spira sarà uscita tutta dal campo magnetico quando essa avrà percorso metà della propria larghezza, ovvero $L/2$:

$$\frac{L}{2} = \frac{1}{2} \frac{IBL}{m} t^{*2} \implies t^* = \sqrt{\frac{m}{IB}}$$

4) Un filo di lunghezza l viene posto al centro di un solenoide di lunghezza L , avente N spire in cui scorre una corrente I_0 . Nel filo viene fatta scorrere una corrente I_1 . A quale forza $F_{//}$ è sottoposto il filo se esso è disposto parallelamente all'asse del solenoide? A quale forza F_{\perp} se esso è invece disposto perpendicolarmente all'asse?

$$[F_{//} = 0 ; \quad F_{\perp} = \mu_0 I_1 I_0 \frac{N}{L}]$$

Il campo all'interno del solenoide è uniforme, parallelo all'asse del solenoide e ha intensità

$$B = \mu_0 I_0 \frac{N}{L}$$

Se il filo all'interno è disposto parallelamente all'asse del solenoide, la corrente I_1 è parallela al campo magnetico, e dunque sul filo non agisce alcuna forza. Se invece è perpendicolare all'asse del solenoide, esso sente la forza

$$F_{\perp} = I_1 l B = \mu_0 I_1 I_0 l \frac{N}{L}$$

Corrente e campo magnetico, legge di Ampere

5) Un filo conduttore rettilineo infinito è vincolato in posizione orizzontale e percorso da una corrente $i = 10$ A. Un secondo filo rettilineo e infinito è parallelo al primo, percorso dalla stessa corrente nello stesso verso, è posto inferiormente al primo, libero di muoversi. A che distanza il secondo filo è in posizione di equilibrio, se la sua densità lineare è $\lambda = 1$ g/m?

$$[d = \frac{\mu_0 i^2}{2\pi \lambda g} \simeq 2.04 \times 10^{-3} \text{ m}]$$

Il campo magnetico generato dal filo fisso ha modulo

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi d}$$

la forza agente sul filo inferiore si ricava da $\vec{F} = i \vec{l} \times \vec{B}$, quindi la forza per unità di lunghezza

$$\frac{F}{l} = iB = \frac{\mu_0 i^2}{2\pi d}$$

Tale forza dovrà equilibrare la forza peso (sempre per unità di lunghezza) quindi

$$\frac{mg}{l} = \lambda g = \frac{\mu_0 i^2}{2\pi d}$$

da cui

$$d = \frac{\mu_0 i^2}{2\pi \lambda g} \simeq 2.04 \times 10^{-3} \text{ m}$$

6) Tre fili conduttori infinitamente lunghi sono disposti orizzontalmente e paralleli tra loro. Il filo più in basso, che chiameremo B , dista $d_{BC} = 5.0$ cm dal filo centrale, che chiameremo C . Il filo più in alto, che chiameremo A dista $d_{AC} = 7.0$ cm dal filo centrale. Nel filo C scorre una corrente e nel filo B scorre una corrente verso destra con intensità $I_B = 10$ mA. Si osserva che il filo C è in equilibrio. Si ricavi la corrente I_A che scorre nel filo A , e il suo verso. (NB si immaginino i fili poggiati su un piano orizzontale privo di attrito, ovvero si trascurino del tutto possibili effetti della forza peso).

$$[I_A \simeq 14 \text{ mA}]$$

Se il filo centrale è in equilibrio, ovvero su di esso non agiscono forze, il campo magnetico in corrispondenza di tale filo deve essere nullo, dato che esso è percorso da una corrente. La corrente del filo B produce un campo uscente dalla pagina in corrispondenza di C , dunque il filo A deve produrre in corrispondenza del filo B un campo della stessa intensità ma entrante nella pagina. Dunque nel filo A scorre una corrente verso destra. Per trovare la sua intensità

$$0 = B_{tot} = B_A + B_B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_A}{d_{AC}} - \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_B}{d_{BC}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{I_A}{d_{AC}} - \frac{I_B}{d_{BC}} \right)$$

ricavando così

$$I_A = \frac{d_{AC}}{d_{BC}} I_B = \frac{7}{5} I_B \simeq 14 \text{ mA}$$

7) Due fili di lunghezza $L = 5.0$ m sono posti in direzione verticale, paralleli e a distanza di $d = 2.0$ m. Il filo di sinistra è caricato con una densità lineare di carica $\lambda = 3.0 \mu\text{C}/\text{cm}$; nel filo di destra scorre una corrente di intensità $I = 1.0$ A verso il basso. Il filo di sinistra viene messo in moto con velocità verso l'alto di modulo $v_0 = 2.0$ m/s. Che forza sente il filo di sinistra?

$$[F \simeq 3 \times 10^{-10} \text{ N}]$$

Il filo di destra genera un campo magnetico, in corrispondenza del filo di sinistra, pari a

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

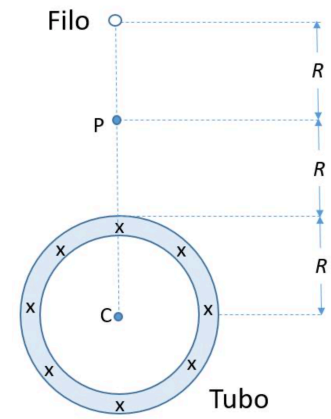
Calcoliamo a quale corrente corrisponda il moto del filo carico:

$$I_S = \frac{dQ}{dt} = \lambda \frac{dl}{dt} = \lambda v_0$$

Dunque il filo di sinistra sente una forza di Lorentz pari a

$$F = I_S L B = \frac{\mu_0 I \lambda v_0 L}{2\pi d} \simeq 3 \times 10^{-10} \text{ N}$$

8) Un lungo tubo circolare, con raggio esterno $R = 2.6 \text{ cm}$, è percorso da una corrente (uniformemente distribuita) $I = 8.0 \text{ mA}$ con verso entrante nel piano della pagina. Un filo corre parallelo al tubo a una distanza di $3R$ misurata fra i loro assi (vedi figura). Inizialmente nel filo non scorre corrente. In questa condizione, calcolare: l'intensità del campo magnetico B_P nel punto P , specificando anche direzione e verso con riferimento alla figura; l'intensità del campo magnetico B_C nel centro C del tubo; se si fa passare nel filo una corrente I' entrante nel piano della pagina, si trovi il valore di I' per cui il campo magnetico totale in P è uguale e opposto a quello presente in C .



$$[B_P = \frac{\mu_0 I}{2\pi(2R)} \simeq 3.1 \times 10^{-8} \text{ T} ; \quad B_C = 0 ; \quad I' \simeq 3.0 \text{ mA}]$$

All'esterno del tubo il campo magnetico generato è lo stesso che si avrebbe per un filo sottile, quindi vale

$$B_P = \frac{\mu_0 I}{2\pi(2R)} \simeq 3.1 \times 10^{-8} \text{ T}$$

All'interno del tubo le circuitazioni possibili sul piano della pagina non hanno correnti concatenate, quindi si può dire immediatamente che

$$B_C = 0$$

Quando nel filo circola una corrente I' , il campo in P sarà ottenuto dalla somma dei campi generati da filo e da tubo, mentre il campo in C sarà quello dovuto al solo filo. Tenendo conto delle distanze e del verso dei campi generati da ciascuna corrente in P e in C , la richiesta che i campi in P e in C abbiano lo stesso modulo diventa:

$$\frac{\mu_0 I}{2\pi(2R)} - \frac{\mu_0 I'}{2\pi(R)} = \frac{\mu_0 I'}{2\pi(3R)}$$

e quindi

$$I' = \frac{3}{8} I \simeq 3.0 \text{ mA}$$