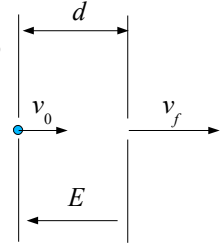
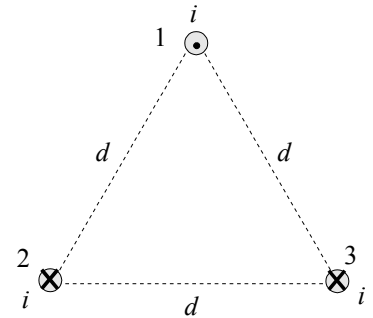


1. Un elettrone, passando attraverso due fenditure praticate sulle armature di un condensatore piano, entra nella regione in cui è presente un campo elettrico con velocità iniziale v_0 e ne esce con una velocità finale v_f (entrambe perpendicolari alle armature) dopo avere percorso una distanza d .

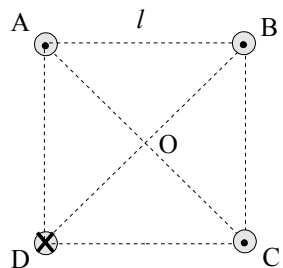


- a. Determina l'intensità E del campo elettrico tra le armature.
- b. Risolvi numericamente il problema nel caso in cui $v_0=1,00 \cdot 10^5 \text{ m/s}$, $v_f=9,00 \cdot 10^5 \text{ m/s}$,
 $d=1,00 \text{ cm}$.
2. In un campo magnetico uniforme B , una particella di massa m e carica q descrive una traiettoria elicoidale di raggio r , compiendo nella direzione del campo uno spostamento s in un tempo t .
- a. Calcola il modulo v della velocità della particella ed il periodo T del suo moto.
- b. Risolvi numericamente il problema nel caso in cui $B=1,00 \cdot 10^{-3} \text{ T}$, $m=2,00 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$,
 $q=1,00 \cdot 10^{-5} \text{ C}$, $r=6,00 \text{ m}$, $s=2,00 \text{ m}$, $t=0,500 \text{ s}$.

3. Tre lunghi fili, disposti perpendicolarmente al piano del foglio ai vertici di un triangolo equilatero di lato d , sono percorsi da una corrente elettrica di intensità i e verso indicato in figura.

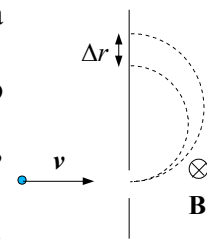


- a. Determina modulo, direzione e verso delle forze per unità di lunghezza F/l agenti su ciascun filo.
- b. Risolvi numericamente il problema nel caso in cui $i=10,0 \text{ A}$, $d=10,0 \text{ cm}$.
4. Quattro lunghi fili paralleli, che intersecano il piano del foglio nei vertici A, B, C, D di un quadrato di lato l , sono percorsi da correnti elettriche di intensità $i_A=2i$, $i_B=3i$, $i_C=2i$, $i_D=5i$.



- a. Determina modulo, direzione e verso del campo magnetico risultante nel centro O del quadrato.
- b. Risolvi numericamente il problema nel caso in cui $i=10,0 \text{ A}$, $l=40,0 \text{ cm}$.

5. Un fascio di particelle contiene due tipi di ioni di carica positiva e ; uno ha massa m_1 nota, mentre l'altro ha massa m_2 da determinare. Le particelle entrano con velocità v in una zona di spazio in cui è presente un campo magnetico B perpendicolare alla direzione della velocità. Gli ioni di massa m_2 descrivono



un'orbita circolare il cui raggio è minore di una quantità Δr rispetto al raggio descritto dagli ioni di massa m_1 .

a. Determina m_2 in funzione dei dati del problema.

b. Calcola m_2 in unità di massa atomica nel caso in cui la prima componente del fascio sia costituita da ioni di ^{12}C (isotopo del carbonio di massa 12,0 unità di massa atomica),

$$B=0,150 \text{ T} \quad , \quad v=100 \text{ km/s} \quad , \quad \Delta r=0,690 \text{ cm} \quad .$$

4^A - Correzione compito n°4

1.

a. *Primo metodo (valido anche se il campo elettrico non è uniforme).*

Poiché il campo elettrico è conservativo, possiamo imporre che l'energia dell'elettrone (cinetica + potenziale elettrostatica) rimanga costante: $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_f^2 - eEd \Rightarrow E = \frac{m}{2ed}(v_f^2 - v_0^2)$.

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_f^2 - eEd \Rightarrow E = \frac{m}{2ed}(v_f^2 - v_0^2)$$

Secondo metodo (valido solo se il campo elettrico è uniforme).

Il moto dell'elettrone è uniformemente accelerato con accelerazione $a = \frac{eE}{m}$.

Abbiamo quindi: $\begin{cases} v_f = at + v_0 \\ d = 1/2 at^2 + v_0 t \end{cases}$ da cui, eliminando il tempo e sostituendo l'accelerazione,

otteniamo il risultato precedente.

b. $E = \frac{m}{2ed}(v_f^2 - v_0^2) \simeq \frac{9,11 \cdot 10^{-31}}{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-2}} [(81 - 1) \cdot 10^{10}] \simeq 2,28 \cdot 10^2 \frac{V}{m}$.

2.

a. La componente della velocità parallela al campo magnetico è: $v_{\parallel} = s/t$.

La componente della velocità perpendicolare al campo magnetico è data dalla relazione:

$$r = \frac{mv_{\perp}}{qB} \Rightarrow v_{\perp} = \frac{rqB}{m}$$

Il modulo della velocità è quindi: $v = \sqrt{v_{\parallel}^2 + v_{\perp}^2} = \sqrt{\left(\frac{s}{t}\right)^2 + \left(\frac{rqB}{m}\right)^2}$.

Il periodo del moto è: $T = \frac{2\pi r}{v_{\perp}} = \frac{2\pi m}{qB}$ e, come è noto, non dipende dalla velocità.

b. $v = \sqrt{\left(\frac{s}{t}\right)^2 + \left(\frac{rqB}{m}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{0,5}\right)^2 + \left(\frac{6 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-8}}\right)^2} = 5,00 \frac{m}{s}$; $T = \frac{2\pi m}{qB} \simeq \frac{6,28 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{10^{-5} \cdot 10^{-3}} \simeq 12,6 s$.

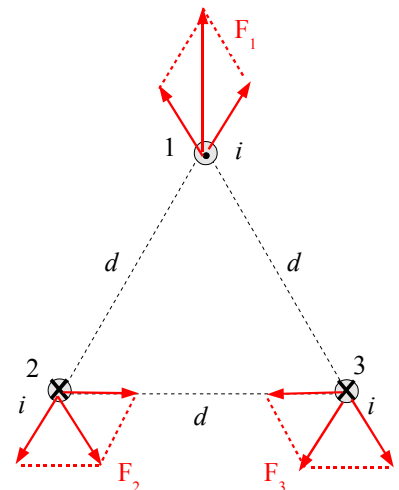
3.

a. Ciascuna forza per unità di lunghezza ha modulo: $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 i^2}{2\pi d}$.

Le forze che agiscono sul filo 1 sono entrambe repulsive, per cui la loro risultante è diretta lungo il prolungamento della bisettrice interna del triangolo ed ha modulo:

$$\frac{F_1}{l} = 2 \frac{F}{l} \cos 30^\circ = \sqrt{3} \frac{\mu_0 i^2}{2\pi d}$$

Le forze che agiscono sui fili 2 e 3 sono una attrattiva ed una repulsiva, per cui la loro risultante è diretta lungo una bisettrice

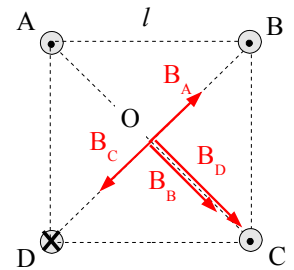


esterna del triangolo ed ha modulo: $\frac{F_2}{l} = \frac{F_3}{l} = 2 \frac{F}{l} \cos 60^\circ = \frac{\mu_0 i^2}{2\pi d}$.

b. $\frac{F_1}{l} = \sqrt{3} \frac{\mu_0 i^2}{2\pi d} = 2\sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot \frac{10^2}{0,1} \simeq 3,46 \cdot 10^{-4} \frac{N}{m}$; $\frac{F_2}{l} = \frac{F_3}{l} = \frac{\mu_0 i^2}{2\pi d} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{10^2}{0,1} = 2,00 \cdot 10^{-4} \frac{N}{m}$.

4.

- a. Con la regola della mano destra determiniamo direzione e verso dei campi magnetici che i quattro fili generano nel centro del quadrato (vedi figura). Vediamo che i campi generati dai fili A e C hanno stessa direzione e moduli uguali, ma versi opposti, per cui si elidono. I campi generati dai fili B e D, invece, hanno stessa direzione (quella della diagonale AC) e stesso verso (da A verso C), per cui i loro moduli si sommano:



$$B_{risO} = B_B + B_D = \frac{\mu_0 i_B + i_D}{2\pi r} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{8i}{l/\sqrt{2}} = 4\sqrt{2} \frac{\mu_0 i}{\pi l}$$

b. $B_{risO} = 4\sqrt{2} \frac{\mu_0 i}{\pi l} = 4\sqrt{2} \cdot 4 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{10}{0,4} \simeq 5,66 \cdot 10^{-5} T$.

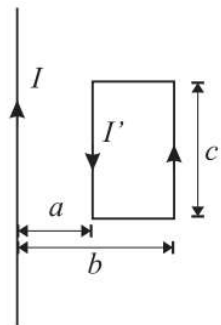
5.

- a. Le due tipologie di ioni descrivono circonferenze di raggio $r_1 = \frac{m_1 v}{eB}$, $r_2 = \frac{m_2 v}{eB}$, per cui:

$$\Delta r = r_1 - r_2 = \frac{(m_1 - m_2)v}{eB} \Rightarrow m_2 = m_1 - \frac{eB \Delta r}{v}$$

b. $\frac{eB \Delta r}{v} \simeq \frac{1,60 \cdot 10^{-19} \cdot 0,15 \cdot 6,9 \cdot 10^{-3}}{10^5} \simeq 1,66 \cdot 10^{-27} kg \simeq 1,0 uma \Rightarrow m_2 = 12,0 - 1,0 \simeq 11,0 uma$.

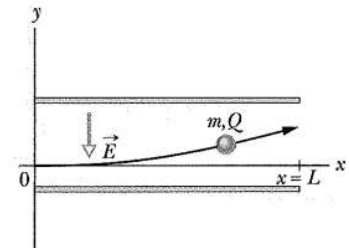
1. Una spira rettangolare è percorsa da una corrente continua $I' = 15,0 \text{ mA}$ che circola in senso antiorario. Accanto, nello stesso piano della spira e parallelamente a due lati del rettangolo, si trova un filo infinitamente lungo percorso da una corrente continua $I = 25,0 \text{ mA}$ diretta verso l'alto.



Sapendo che $a = 5,00 \text{ cm}$, $b = 10,0 \text{ cm}$, $c = 8,00 \text{ cm}$, determina:

- modulo, direzione e verso dei campi magnetici generati dal filo che agiscono sui due lati verticali della spira (alle distanze a e b rispettivamente dal filo);
- modulo, direzione e verso delle forze che il filo esercita sui lati verticali della spira;
- modulo, direzione e verso della forza risultante che il filo esercita sulla spira;
- modulo, direzione e verso della forza risultante che la spira esercita sul filo.

2. Una stampante a getto di inchiostro contiene due armature tra le quali è presente un campo elettrico uniforme, diretto verso il basso e di modulo $E = 1,40 \cdot 10^6 \text{ N/C}$.



Una goccia di inchiostro di massa $m = 1,30 \cdot 10^{-10} \text{ kg}$ e carica $q = -1,50 \cdot 10^{-13} \text{ C}$ entra nella regione tra le due armature con una velocità iniziale $v_0 = 18,0 \text{ m/s}$ diretta lungo l'asse x .

Sapendo che la lunghezza delle armature è $L = 1,60 \text{ cm}$, determina:

- la deflessione verticale subita dalla goccia nel momento in cui essa esce dalle armature;
 - la direzione in cui si muove la goccia dopo essere uscita dalle armature.
3. Un protone di energia cinetica $K = 5,30 \text{ MeV}$ che si muove da sud verso nord entra in un laboratorio in cui è presente un campo magnetico di intensità $B = 1,20 \text{ mT}$ in direzione verticale e diretto verso l'alto. Determina:
- la velocità del protone;
 - modulo, direzione e verso della forza di Lorentz che agisce sul protone nell'istante in cui esso

entra nel laboratorio;

c. l'accelerazione subita dal protone;

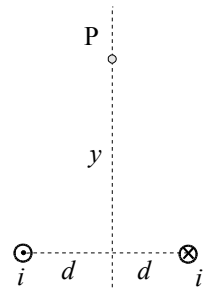
d. il raggio della traiettoria percorsa dal protone;

e. l'energia cinetica del protone nel momento in cui esso esce dal laboratorio.

f. Descrivi la traiettoria ed il moto della particella, anche tracciando un disegno.

4. Due fili paralleli molto lunghi sono percorsi da correnti di uguale intensità, ma dirette in verso opposto, perpendicolarmente al piano del foglio.

a. Determina direzione e verso del campo magnetico complessivo nel punto P, equidistante dai due fili.



b. Determina il modulo del campo magnetico in funzione dei dati indicati in figura.

4^C - Correzione compito n°4

1.

a. Il campo magnetico generato dal filo è quello di Biot e Savart, di modulo:

$$\bullet \quad B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-2}} = 1,00 \cdot 10^{-7} T \quad \text{sul lato della spira più vicino al filo;}$$

$$\bullet \quad B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi b} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-2}} = 0,50 \cdot 10^{-7} T \quad \text{sul lato della spira più lontano dal filo;}$$

• esso ha direzione perpendicolare al piano del foglio e verso entrante nel foglio stesso.

b. Le forze che agiscono sui lati verticali della spira hanno modulo:

$$\bullet \quad F_1 = I' c B_1 = \frac{\mu_0 I I' c}{2\pi a} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-2}} = 1,20 \cdot 10^{-10} N \quad ;$$

$$\bullet \quad F_2 = I' c B_2 = \frac{\mu_0 I I' c}{2\pi b} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-2}}{10 \cdot 10^{-2}} = 0,60 \cdot 10^{-10} N \quad ;$$

entrambe hanno direzione orizzontale; F_1 è diretta verso destra ed F_2 verso sinistra.

c. Poiché le forze che il filo esercita sui due lati orizzontali della spira sono uguali e opposte, la forza risultante applicata alla spira ha modulo:

$$F_{ris} = F_1 - F_2 = \frac{\mu_0 I I' c}{2\pi} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) = 0,60 \cdot 10^{-10} N \quad ;$$

essa ha direzione orizzontale ed è diretta verso destra.

d. Per il terzo principio della dinamica, la forza risultante applicata al filo ha lo stesso modulo e la stessa direzione di quella sulla spira, ma verso opposto, per cui è diretta verso sinistra.

2.

a. La goccia esce dalle armature all'istante: $t_1 = \frac{L}{v_0} = \frac{1,6 \cdot 10^{-2}}{18} \simeq 8,89 \cdot 10^{-4} s \quad .$

La deflessione verticale della goccia in tale istante è:

$$y = \frac{1}{2} a t_1^2 = \frac{|q|E}{2m} t_1^2 \simeq \frac{1,5 \cdot 10^{-13} \cdot 1,4 \cdot 10^6}{2 \cdot 1,3 \cdot 10^{-10}} \cdot (8,89 \cdot 10^{-4})^2 \simeq 6,38 \cdot 10^{-4} m \quad .$$

b. La direzione in cui si muove la goccia è quella del suo vettore velocità:

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{v_y}{v_x} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{|q|Et_1}{mv_0} \simeq \operatorname{tg}^{-1} \frac{1,5 \cdot 10^{-13} \cdot 1,4 \cdot 10^6 \cdot 8,89 \cdot 10^{-4}}{1,3 \cdot 10^{-10} \cdot 18} \simeq 4,56^\circ \quad .$$

3.

a. $K = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2K}{m}} \simeq \sqrt{\frac{2 \cdot 5,3 \cdot 10^6 eV \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} J/eV}{1,67 \cdot 10^{-27} kg}} \simeq 3,19 \cdot 10^7 \frac{m}{s} \quad .$

b. $F_L = qvB \simeq 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3,19 \cdot 10^7 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \simeq 6,12 \cdot 10^{-15} \text{ N}$.

Inizialmente, la direzione della forza è orizzontale, ed essa è diretta verso est.

c. $a = \frac{F_L}{m} \simeq \frac{6,12 \cdot 10^{-15}}{1,67 \cdot 10^{-27}} \simeq 3,66 \cdot 10^{12} \frac{m}{s^2}$.

Osserviamo che anche una forza “molto piccola” agendo su una particella elementare (o quasi) può imprimerle un'accelerazione “molto grande” (in questo caso $\approx 10^{11} g$).

d. Imponiamo che l'accelerazione trovata svolga il ruolo di accelerazione centripeta:

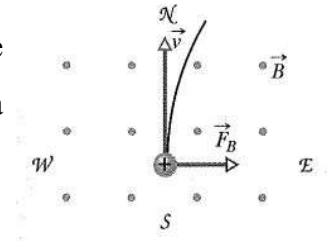
$$a = \frac{v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{v^2}{a} \simeq \frac{(3,19 \cdot 10^7)^2}{3,66 \cdot 10^{12}} \simeq 278 \text{ m} .$$

In maniera equivalente, imponiamo che la forza di Lorentz si comporti come forza centripeta:

$$qvB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv}{qB} \simeq \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 3,19 \cdot 10^7}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}} \simeq 277 \text{ m} .$$

e. L'energia cinetica del protone ha valore costante $K = 5,30 \text{ MeV}$ durante il moto, in quanto il campo magnetico non può compiere lavoro sulla particella.

f. Ricordiamo che la velocità iniziale del protone ha direzione perpendicolare a quella del campo magnetico, e che in ogni istante la forza di Lorentz è perpendicolare alla velocità della particella.

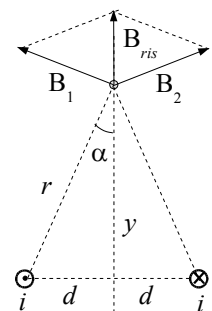


Di conseguenza:

- il moto della particella si svolge nel piano che contiene la sua velocità e la forza di Lorentz che agisce su di essa (ad esempio quelle iniziali);
- la traiettoria è un arco di circonferenza di raggio r ; in particolare, rispetto alla direzione iniziale del moto, il protone viene inizialmente deflesso verso est;
- il moto del protone è circolare uniforme di velocità v , in quanto la forza è solo centripeta.

4.

a. Dalla regola della mano destra vediamo che le componenti orizzontali dei due campi magnetico sono opposte, mentre quelle verticali sono uguali, per cui il campo magnetico risultante è verticale e rivolto verso l'alto.

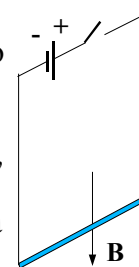


b. Ponendo $r = \sqrt{d^2 + y^2}$ e $\alpha = \text{tg}^{-1}(d/y)$, ricaviamo:

$$B_{ris} = 2 B_{1,y} = 2 B_1 \text{sen } \alpha = 2 \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i}{r} \cdot \frac{d}{r} = \frac{\mu_0}{\pi} \frac{id}{d^2 + y^2}$$

4^A - Verifica su campo magnetico e onde

- Una barretta metallica è collegata ad una batteria e immersa in un campo magnetico uniforme. Spiega cosa succede nel momento in cui l'interruttore viene chiuso.
- Una particella carica entra in un campo magnetico uniforme con velocità v perpendicolare al campo e si muove con periodo T . Con quale periodo si muove una particella identica alla precedente che si muove con velocità $2v$? Perché?

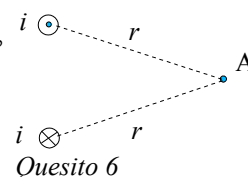


Quesito 1

- Un protone ed una particella alfa (nucleo di elio, composto da due protoni e due neutroni) entrano con velocità uguali e perpendicolari al campo in un campo magnetico uniforme. Calcola il rapporto r_p/r_α tra i raggi delle circonferenze descritte.

- Calcola il lavoro compiuto dalla forza di Lorentz su una particella di massa m e carica q che percorre con velocità v una circonferenza sotto l'azione di un campo magnetico uniforme B .
- Un elettrone che si sta muovendo verso di te (cioè con velocità uscente dalla pagina) entra in una regione in cui è presente un campo magnetico e la sua traiettoria si incurva verso l'alto. Determina (anche con un disegno) direzione e verso del campo magnetico.

- Due fili paralleli molto lunghi sono percorsi da correnti di uguale intensità, ma dirette in verso opposto e perpendicolari al piano della pagina.



Quesito 6

Come è diretto il campo magnetico nel punto A, equidistante dai due fili?

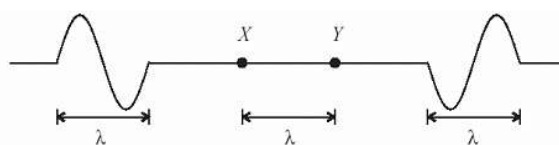
- Una corrente elettrica viene immessa in una molla metallica di forma elicoidale. Quale effetto possiamo osservare sulle spire della molla? Perché?
- Un filo percorso da corrente è disposto lungo l'asse di un solenoide, anch'esso percorso da corrente. Spiega se sul filo agisce una forza, e qual è la sua direzione.
- Una sorgente di frequenza $f = 500 \text{ Hz}$ emette onde di lunghezza $\lambda = 0,40 \text{ m}$. Quanto tempo impiegano le onde a percorrere la distanza $d = 600 \text{ m}$?

- L'equazione di un'onda armonica (in unità SI) è $y = 8 \cos[\pi(\frac{x}{4} - \frac{t}{10})]$.

Quanto valgono la lunghezza d'onda e la frequenza?

- La frequenza di un'onda sonora è f e la sua velocità è v . Se la frequenza viene aumentata fino a raggiungere il valore $4f$, quale valore assume la velocità? Perché?

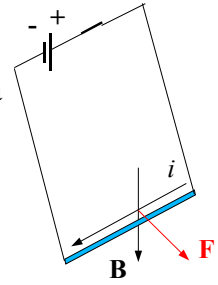
- Due impulsi di lunghezza λ si propagano l'uno verso l'altro lungo una corda elastica. Qual è la configurazione della corda quando i due impulsi si trovano contemporaneamente nel tratto XY? Perché?



Quesito 12

4^A - Risposte verifica fisica

1. Quando l'interruttore viene chiuso, la sbarretta viene attraversata da una corrente, e quindi subisce l'azione di una forza "magnetica" $\vec{F} = i \vec{l} \times \vec{B}$ diretta come in figura.



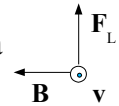
2. Le due particelle si muovono con lo stesso periodo T.

Infatti: $qvB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv}{qB} \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$ non dipende dalla velocità v.

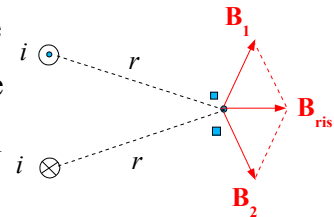
3. $\frac{r_p}{r_\alpha} = \frac{m_p}{m_\alpha} \cdot \frac{q_\alpha}{q_p} \simeq \frac{1}{4} \cdot 2 \simeq \frac{1}{2}$. (Supponiamo che la massa del neutrone sia uguale a quella del protone).

4. Il lavoro è nullo, in quanto la forza di Lorentz è perpendicolare alla velocità della particella, e quindi al suo spostamento istantaneo: $dL = \vec{F} \cdot d\vec{s} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{v} dt = 0$.

5. Poiché l'elettrone ha carica negativa, il campo magnetico deve essere diretto verso la sinistra di chi guarda la pagina.

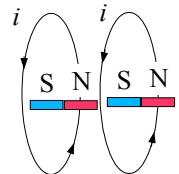


6. Poiché il campo magnetico generato da ciascun filo ha direzione perpendicolare alla retta congiungente il filo con il punto A, i due campi hanno componenti orizzontali uguali e componenti verticali opposte, per cui il campo risultante è diretto verso destra.



7. In tutte le spire della molla circolano delle correnti che scorrono nello stesso verso. Ogni spira equivale ad un dipolo magnetico orientato nello stesso verso.

L'effetto complessivo è quindi quello di generare delle forze repulsive che tendono ad allontanare le singole spire.



8. Il campo magnetico generato da un solenoide ha direzione coincidente con quella dell'asse del solenoide. Poiché il filo è anch'esso disposto lungo l'asse, la forza magnetica $\vec{F} = i \vec{l} \times \vec{B}$ che agisce sul filo è nulla.

9. $v = f \lambda = 500 \text{ Hz} \cdot 0,40 \text{ m} \simeq 200 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow t = \frac{d}{v} \simeq \frac{600 \text{ m}}{200 \text{ m/s}} \simeq 3 \text{ s}$.

10. Confrontando l'equazione data con quella "canonica": $y = A \cos[2\pi(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T})]$, ricaviamo:

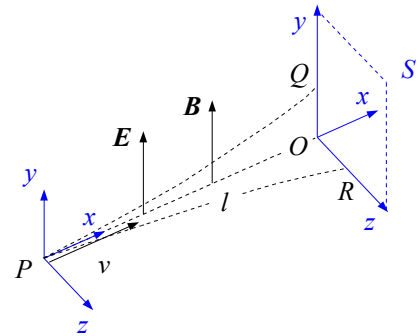
$\lambda/2 = 4 \Rightarrow \lambda = 8 \text{ m}$; $2f = 1/10 \Rightarrow f = 0,05 \text{ Hz}$.

11. La velocità resta invariata, in quanto non dipende dalla frequenza, ma solo dalle caratteristiche fisiche del mezzo di propagazione.

12. La corda è in quiete, in quanto i due impulsi sono simmetrici rispetto alla corda stessa, per cui la loro sovrapposizione nell'istante considerato ha ampiezza nulla in ogni punto.

Un fascio di ioni positivi entra in una zona di spazio in un punto P e colpisce uno schermo fluorescente S in un punto O.

Il fascio è composto da particelle che possono avere masse m , cariche q e velocità v diverse, ma con velocità tutte parallele tra loro. Prendi come asse x la retta lungo la quale si muovono gli ioni e come origine il punto P.



- Nel tratto PO di lunghezza l gli ioni vengono sottoposti all'azione di un campo elettrico E uniforme. Assumi come asse y la direzione del campo elettrico. Descrivi la traiettoria seguita da uno ione nel piano xy e determina l'equazione di tale traiettoria. Se lo ione colpisce lo schermo in un punto Q, calcola lo spostamento $y=QO$ dovuto al campo elettrico.
- Dopo avere “spento” il campo elettrico, nel tratto PO gli ioni vengono sottoposti all'azione di un campo magnetico B uniforme, sempre nella direzione dell'asse y . Spiega quale forza agisce sugli ioni, come è diretta, in quale piano avviene il loro moto e qual è la loro traiettoria.
- Supponiamo che la forza del punto b possa essere considerata costante non solo in modulo, ma anche in direzione, ovvero che sia sempre diretta lungo l'asse z . Se uno ione colpisce lo schermo in un punto R, calcola lo spostamento $z=RO$ dovuto al campo magnetico.
- Supponiamo ora di “accendere” contemporaneamente il campo elettrico e quello magnetico. Dimostra che tutti gli ioni che hanno lo stesso rapporto q/m tra la loro carica e la loro massa formano sullo schermo una parabola e determina l'equazione $y=f(z)$ di tale parabola.
- Spiega quali risultati si possono dedurre dalle tracce rilevate sullo schermo.
- Spiega (e disegna) come orientare il campo elettrico in modo tale da deflettere le particelle in verso opposto alla deflessione dovuta al campo magnetico. Determina la condizione che deve essere verificata dai campi perché la deflessione totale sia nulla. Spiega quale grandezza può essere misurata da tale dispositivo.

- a. Il moto dello ione è uniforme lungo l'asse x e, poiché il campo elettrico è uniforme, uniformemente accelerato lungo l'asse y , con accelerazione $a = F/m = qE/m$.

$$\text{Eq. traiettoria: } \begin{cases} x = vt \Rightarrow t = x/v \\ y = qEl/(2m) t^2 \end{cases} \Rightarrow y = \frac{qE}{2mv^2} x^2 .$$

Si tratta di una parabola avente vertice nel punto P, asse di simmetria coincidente con l'asse x e concavità rivolta verso l'alto.

$$\text{Se } x=l \text{ ricaviamo lo spostamento OQ: } y_Q = \frac{qEl^2}{2mv^2} .$$

- b. Sugli ioni agisce la forza di Lorentz $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$, che nel punto P è diretta nel verso positivo dell'asse z per la regola della mano destra, e in seguito cambia direzione rimanendo sempre perpendicolare alla velocità degli ioni. Per questo motivo, la traiettoria è un arco di circonferenza di raggio $r = mv/(qB)$, situato sul piano xz , con centro sul semiasse positivo delle z .
- c. Con l'approssimazione consigliata dal testo, ci ritroviamo in una situazione analoga a quella del punto a , per cui il moto è uniforme lungo l'asse x e uniformemente accelerato lungo l'asse z , con accelerazione $a = F/m = qvB/m$.

$$\text{Eq. traiettoria: } \begin{cases} x = vt \Rightarrow t = x/v \\ z = qvBl/(2m) t^2 \end{cases} \Rightarrow z = \frac{qB}{2mv} x^2 .$$

Si tratta ancora una parabola avente vertice in P e asse di simmetria coincidente con l'asse x .

$$\text{Se } x=l \text{ ricaviamo lo spostamento OR: } z_R = \frac{qBl^2}{2mv} .$$

- d. Poiché gli ioni hanno velocità diverse, dobbiamo eliminare la velocità v dalle relazioni trovate

$$\text{nei punti } a \text{ e } c. \text{ Ricaviamo quindi: } v = \frac{qBl^2}{2mz} \Rightarrow y = \frac{qEl^2}{2m} \frac{4m^2 z^2}{q^2 B^2 l^4} \Rightarrow y = \frac{m}{q} \frac{2E}{l^2 B^2} z^2 .$$

Se il rapporto q/m è costante, la traccia è un arco di parabola avente vertice in O e asse di simmetria coincidente con l'asse y .

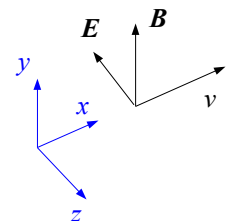
- e. Dall'apertura delle parabole si possono ricavare i rapporti q/m delle varie specie di ioni.

- f. Poiché il campo magnetico deflette gli ioni nel verso positivo dell'asse z , il campo elettrico deve essere orientato lungo quello negativo.

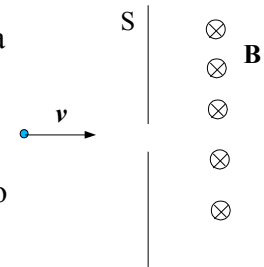
La deflessione è nulla quando:

$$F_E = F_M \Rightarrow qE = qvB \Rightarrow v = E/B .$$

Conoscendo l'intensità dei campi, il dispositivo può misurare la velocità delle particelle, ed è infatti chiamato *selettore di velocità*.



1. Un fascio di ioni carbonio C^+ di massa $m=2,00 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ entra in una zona di spazio in cui è presente un campo magnetico $B=0,380 \text{ T}$.
Le velocità degli ioni sono tutte trasversali al campo magnetico ed hanno valori compresi tra $v_{min}=1,50 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ e $v_{max}=6,00 \cdot 10^5 \text{ m/s}$.



a. Descrivi (anche nel disegno) le traiettorie degli ioni nel campo magnetico.

N.B: non ti chiedo di scrivere delle formule a memoria, ma di ricavarle.

b. Determina la larghezza l della macchia formata dagli ioni sullo schermo S.

c. Calcola il tempo impiegato dagli ioni a colpire lo schermo.

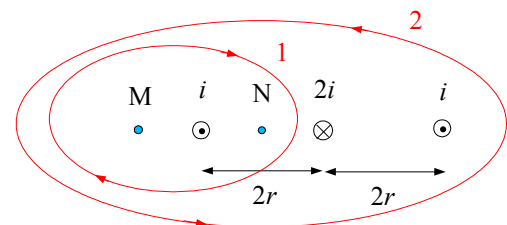
Cosa puoi osservare su tale risultato? Perché?

d. Supponi che la velocità degli ioni formi un angolo α con la direzione del campo magnetico.

Spiega perché (in assenza dello schermo) la loro traiettoria è un'elica, calcolane la lunghezza p del passo e calcola il lavoro compiuto dal campo magnetico sugli ioni in un "giro".

2. Tre fili rettilinei, molto lunghi, paralleli e distanti $2r$ l'uno dall'altro sono perpendicolari al piano del foglio.

I due fili esterni sono attraversati da una corrente i , mentre quello centrale da una corrente $2i$.



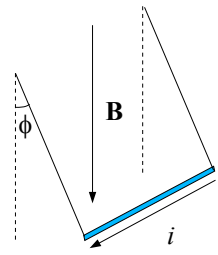
a. Determina modulo, direzione e verso del campo magnetico nei punti M ed N, ognuno dei quali ha distanza r dal primo filo.

b. Determina modulo, direzione e verso delle forze per unità di lunghezza che agiscono sul filo centrale e sul filo di destra.

c. Calcola la circuitazione del campo magnetico lungo le curve 1 e 2 in figura.

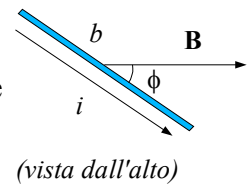
3. Una sbarretta metallica di lunghezza $l=20,0 \text{ cm}$ e massa $m=80,0 \text{ g}$ è appesa al soffitto di una stanza per mezzo di due fili conduttori. Un campo magnetico uniforme $B=7,00 \cdot 10^{-2} \text{ T}$ attraversa la stanza dal soffitto al pavimento.

- a. Spiega perché, quando la sbarretta viene attraversata da una corrente i , essa si solleva in modo che i fili che la sostengono formino un angolo ϕ con la direzione verticale.



- b. Calcola l'angolo ϕ nel caso in cui $i = 42,0 A$.

4. Una bobina rettangolare di dimensioni $a = 70,0 cm$, $b = 50,0 cm$ è formata da $N = 75$ avvolgimenti ed è attraversata da una corrente $i = 4,40 A$.



Un campo magnetico $B = 1,80 T$ forma un angolo $\phi = 35,0^\circ$ con il piano della bobina.

- a. Determina modulo, direzione e verso del momento torcente che agisce sulla bobina.

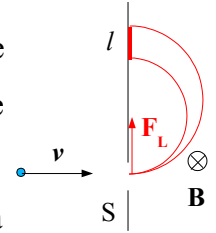
Qual è il verso di rotazione iniziale della bobina?

- b. Descrivi qualitativamente il moto della bobina

- c. Spiega come potresti utilizzare la bobina per ottenere un motore elettrico a corrente continua.

1.

- a. Poiché la forza di Lorentz è sempre perpendicolare alla velocità degli ioni, le traiettorie sono delle semicirconferenze che giacciono su un piano perpendicolare alla direzione del campo magnetico.



Gli ioni colpiscono la metà superiore dello schermo, in quanto il verso della forza di Lorentz viene determinato dalla “regola della mano destra”.

Per ricavare il raggio, imponiamo che la forza di Lorentz agisca come forza centripeta:

$$evB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv}{eB} . \text{ Il raggio è direttamente proporzionale alla velocità degli ioni.}$$

- b. La larghezza della macchia è uguale alla differenza dei diametri delle circonferenze:

$$l = 2(r_{max} - r_{min}) = \frac{2m}{eB}(v_{max} - v_{min}) \simeq \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \cdot 4,5 \cdot 10^5 \text{ m/s}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,38 \text{ T}} \simeq 29,6 \text{ cm} .$$

- c. Tempo impiegato a percorrere la semicirconferenza:

$$t = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi m}{eB} \simeq \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 10^{-26} \text{ kg}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,38 \text{ T}} \simeq 1,03 \mu s .$$

Osserviamo che il tempo di percorrenza non dipende dalla velocità degli ioni, in quanto il raggio della traiettoria è direttamente proporzionale alla velocità.

In parole povere, gli ioni più veloci percorrono più strada, per cui tutti impiegano lo stesso tempo.

- d. Se la velocità degli ioni forma un angolo α con la direzione di \vec{B} , essi compiono:

- nel piano perpendicolare al campo \vec{B} , un moto circolare uniforme che ha:

$$\text{velocità } v \sin \alpha, \text{ raggio } r = \frac{mv \sin \alpha}{eB}, \text{ periodo } T = \frac{2\pi r}{v \sin \alpha} = \frac{2\pi m}{eB};$$

- nella direzione di \vec{B} , un moto rettilineo uniforme con velocità $v \cos \alpha$.

$$\text{La traiettoria è un'elica di passo: } p = Tv \cos \alpha = \frac{2\pi mv \cos \alpha}{eB} .$$

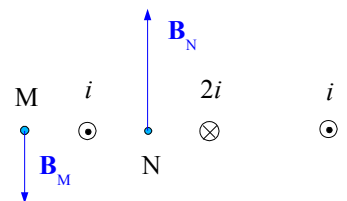
Il lavoro compiuto dal campo \vec{B} è nullo perché la forza di Lorentz è perpendicolare alla velocità.

2.

- a. Applichiamo la legge di Biot e Savart e la “regola della mano destra”:

$$B_M = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(-\frac{i}{r} + \frac{2i}{3r} - \frac{i}{5r} \right) = -\frac{8}{15} \frac{\mu_0 i}{2\pi r};$$

$$B_N = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{i}{r} + \frac{2i}{r} - \frac{i}{3r} \right) = \frac{8}{3} \frac{\mu_0 i}{2\pi r} .$$



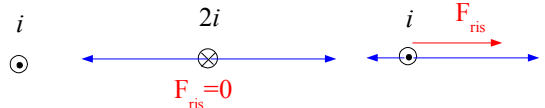
Indichiamo con il segno positivo i campi rivolti verso l'alto, e con quello negativo quelli rivolti verso il basso.

I campi si trovano sul piano del foglio; hanno direzione perpendicolare a quella della retta MN; il campo in M è diretto verso il basso; quello in N verso l'alto.

b. La forza per unità di lunghezza che agisce sul filo centrale è nulla per simmetria.

Infatti, i fili laterali esercitano su di esso delle forze opposte di modulo: $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{2i^2}{2r}$.

Sul filo di destra: $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(-\frac{i^2}{4r} + \frac{2i^2}{2r}\right) = \frac{3}{4} \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i^2}{r}$.



La forza risultante giace sul piano del foglio, ha la direzione della retta MN ed è rivolta verso destra.

c. Per il teorema di Ampère:

$C_1(\vec{B}) = -\mu_0 i$, in quanto la curva viene percorsa in senso opposto a quello del campo \vec{B} ;

$C_2(\vec{B}) = 0$, perché la somma algebrica delle correnti concatenate è nulla.

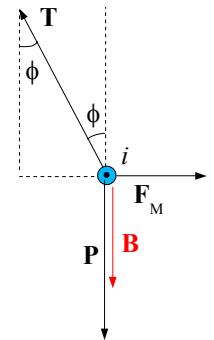
3.

a. Se la sbarretta viene attraversata da una corrente, essa subisce una forza “magnetica” $\vec{F}_M = i \vec{l} \times \vec{B}$ che la solleva fino a raggiungere un punto di equilibrio in cui la risultante delle forze agenti su di essa è nulla.

b. Sulla sbarretta agiscono la forza “magnetica”, la forza peso e la tensione dei fili.

Imponiamo l'equilibrio sia in direzione orizzontale che verticale:

$$\begin{cases} T \cos \phi = mg \\ T \sin \phi = i l B \end{cases} \Rightarrow \operatorname{tg} \phi = \frac{i l B}{mg} \Rightarrow \phi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{42 \text{ A} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 7 \cdot 10^{-2} \text{ T}}{8 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} \simeq 36,9^\circ$$



4.

a. Il momento magnetico $\vec{\mu}$ della bobina è perpendicolare al piano della bobina ed il suo verso è quello in cui si vede la corrente scorrere in senso antiorario.

Quindi, il momento meccanico $\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ che agisce sulla spira ha direzione perpendicolare al piano del foglio e verso entrante nel foglio stesso.

Di conseguenza, la bobina inizialmente ruota in verso orario.

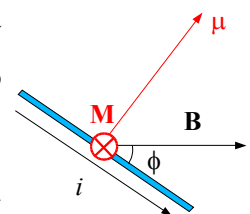
$$M = i S B \sin(90^\circ - \phi) = 75 \cdot 4,4 \text{ A} \cdot 0,7 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 1,8 \text{ T} \cdot \sin 55^\circ \simeq 170 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Avremmo potuto anche ricavare il momento torcente partendo dalle forze che agiscono sui singoli lati della bobina.

b. In assenza di attrito, la bobina oscilla con moto periodico attorno alla sua posizione di equilibrio stabile, che è quella in cui il momento magnetico della bobina è parallelo (ovvero ha stessa direzione e stesso verso) al campo magnetico.

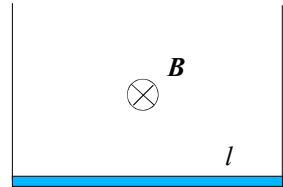
Più realisticamente, il moto sarà oscillatorio smorzato a causa degli attriti.

c. Vedi pag. 297 del libro di testo.



1. Scrivi (in formula) le leggi che determinano flusso e circuitazione dei campi elettrico e magnetico (statici) e spiegate il significato fisico (*max 10 righe*).

2. Una sbarretta di rame di lunghezza $l=0,150\text{ m}$ e massa $m=5,00\cdot 10^{-2}\text{ kg}$ è appesa a due fili sottili. La sbarretta è immersa in un campo magnetico $B=0,550\text{ T}$ perpendicolare ad essa. Determina

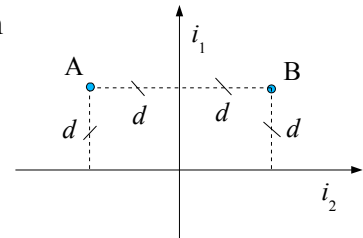


intensità e verso della corrente che, scorrendo nella sbarretta, la tiene sospesa.

3. Spiega il principio di funzionamento di un galvanometro a bobina mobile.

4. Una spira rettangolare con $N=200$ avvolgimenti ha dimensioni $l=5,00\text{ cm}$, $h=4,00\text{ cm}$. Quando la spira è posta in un campo magnetico di intensità $B=0,35\text{ T}$, il massimo momento torcente che essa subisce vale $M=0,220\text{ N}\cdot\text{m}$. Determina l'intensità della corrente che circola nella spira. Rappresenta graficamente campo magnetico, corrente, momento torcente e verso di rotazione della spira in modo che siano compatibili con i dati del problema.

5. Due fili rettilinei molto lunghi sono disposti come indicato in figura. Uno è percorso da una corrente $i_1=6,20\text{ A}$ diretta nel verso positivo dell'asse y , l'altro da una corrente $i_2=4,50\text{ A}$ nel verso positivo dell'asse x . Sapendo che $d=16,0\text{ cm}$, determina intensità, direzione e verso del campo magnetico risultante nei punti A e B.



6. Per costruire un solenoide rettilineo, avvolgiamo un filo conduttore isolato attorno ad un tubo cilindrico di plastica di diametro $d=12\text{ cm}$ e lunghezza $l=55\text{ cm}$. Vogliamo che una corrente $i=2,0\text{ A}$ produca un campo magnetico $B=2,5\text{ KG}$ all'interno del solenoide. Qual è la lunghezza L del filo che ci serve per soddisfare tale requisito?

1. Teorema di Gauss: $\Phi(\vec{E})_{S_{chiusa}} = \frac{\sum q_{int}}{\epsilon_0}$. Il campo elettrostatico ha come sorgenti le cariche

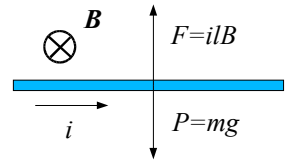
elettriche; le linee di campo sono aperte ed escono (o entrano) dalle cariche.

$$\Phi(\vec{B})_{S_{chiusa}} = 0 \quad . \text{ Non esistono cariche magnetiche.}$$

$$C(\vec{E}) = 0 \quad . \text{ Non esistono linee di campo elettrostatico chiuse; il campo è conservativo.}$$

Teorema di Ampere: $C(\vec{B}) = \mu_0 \sum i_{conc}$. Le sorgenti del campo magnetico (statico) sono le correnti elettriche, attorno alle quali si generano linee di campo chiuse (“vortici”).

2. La forza generata dal campo magnetico sul filo deve equilibrare la forza

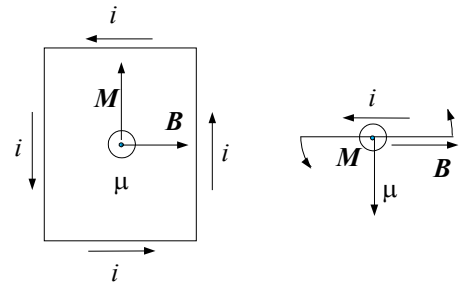


$$\text{gravitazionale: } ilB = mg \Rightarrow i = \frac{mg}{lB} \simeq \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 9,81}{0,15 \cdot 0,55} \simeq 5,95 \text{ A} \quad .$$

In base alla “regola della mano destra”, la corrente deve scorrere verso destra.

3. Vedi pagg. 189-190 libro di testo.

4. Il momento torcente è: $M = NiSB \sin \alpha$, ed è quindi massimo quando $\alpha = \pi/2$, ovvero quando il campo magnetico è parallelo al piano della spira.



$$\text{La corrente è: } i = \frac{M}{NSB} = \frac{0,22}{200 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,35} \simeq 1,57 \text{ A} \quad .$$

La figura mostra una situazione possibile, con la spira vista di fronte e dall'alto (rotazione in verso antiorario).

5. Nel punto A i campi magnetici generati dalle due correnti sono entrambi perpendicolari al piano

$$\text{del foglio e uscenti da esso. Quindi: } B_A = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 + i_2}{d} \simeq 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{6,2 + 4,5}{0,16} \simeq 1,34 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad .$$

Nel punto B il campo magnetico del primo filo entra nel piano del foglio, mentre quello del secondo ne esce. Il campo risultante è entrante, ed ha intensità:

$$B_B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 - i_2}{d} \simeq 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{6,2 - 4,5}{0,16} \simeq 2,12 \cdot 10^{-6} \text{ T} \quad .$$

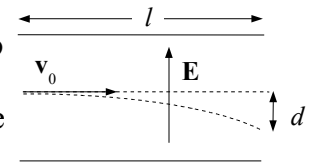
6. Ricaviamo il numero di avvolgimenti: $B = \mu_0 \frac{N}{l} i \Rightarrow N = \frac{Bl}{\mu_0 i} \simeq \frac{0,25 \cdot 0,55}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2} \simeq 5,47 \cdot 10^4 \quad .$

$$\text{La lunghezza del filo è: } L = 2\pi r N \simeq 2\pi \cdot 6 \cdot 10^{-2} \cdot 5,47 \cdot 10^4 \simeq 2,06 \cdot 10^4 \text{ m} \quad .$$

Sarebbero quindi necessari più di 20 km di filo.

1. Descrivi l'esperimento di Thomson ed i risultati ottenuti. (circa 10 righe).
2. Enuncia la legge di Faraday - Neumann, descrivendo alcuni modi per ottenere una corrente indotta. (circa 10 righe).
3. Enuncia la legge di Lenz e spiegate il significato fisico (circa 10 righe).
4. Un elettrone entra in un condensatore a facce piane e parallele con velocità $v_0 = 5,45 \cdot 10^6 \text{ m/s}$.

Sapendo che la lunghezza delle armature è $l = 2,25 \text{ cm}$ e che, quando l'elettrone esce dal condensatore, ha subito una deflessione $d = 0,618 \text{ cm}$, determina l'intensità del campo elettrico tra le armature e la velocità con cui l'elettrone esce dal condensatore.



5. Su una sfera di raggio $r = 2,70 \text{ mm}$ è distribuita uniformemente una carica $q = 1,80 \cdot 10^{-15} \text{ C}$. Un elettrone si trova in quiete (sì, lo so che è una sciocchezza!) appena al di sopra della superficie della sfera. Quale velocità iniziale v_0 è necessario imprimere all'elettrone per mandarlo a distanza infinita dalla sfera? e per fargli descrivere una circonferenza di raggio r ?
6. Un elettrone inizialmente in quiete viene accelerato tramite una differenza di potenziale $V = 550,0 \text{ V}$, ed entra in una regione di spazio in cui è presente un campo magnetico costante. Sapendo che l'elettrone segue una traiettoria circolare di raggio $r = 17,0 \text{ cm}$, determina l'intensità del campo magnetico.
7. Un elettrone ed un protone si muovono lungo orbite circolari in un piano perpendicolare ad un campo magnetico uniforme B . Calcola il rapporto tra i raggi delle loro orbite quando l'elettrone ed il protone hanno stessa quantità di moto e quando hanno stessa energia cinetica.
8. Un solenoide di lunghezza $l = 20,0 \text{ cm}$ formato da 1000 spire è attraversato da una corrente $i = 2,00 \text{ A}$. Dentro il solenoide, nel piano delle sue spire, è disposta una piccola spira di raggio $r = 1 \text{ cm}$ e resistenza $R = 2,00 \Omega$. La corrente nel solenoide viene azzerata nel tempo $t = 0,100 \text{ s}$. Determina intensità e verso della corrente indotta nella spira.

1. Vedi pagg. 225-228 libro di testo.
2. Vedi pagg. 244-252 libro di testo.
3. Vedi pagg. 253-256 libro di testo.

4. L'elettrone attraversa il condensatore nel tempo: $t_1 = \frac{l}{v_0} \simeq \frac{2,25 \cdot 10^{-2} m}{5,45 \cdot 10^6 m/s} \simeq 4,13 \cdot 10^{-9} s$.

Poiché il moto verticale è uniformemente accelerato:

$$d = \frac{1}{2} a t_1^2 = \frac{1}{2} \frac{eE}{m} t_1^2 \Rightarrow E = \frac{2md}{e t_1^2} \simeq \frac{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} kg \cdot 6,18 \cdot 10^{-3} m}{1,6 \cdot 10^{-19} C \cdot (4,13 \cdot 10^{-9} s)^2} \simeq 4,13 \cdot 10^3 \frac{N}{C}$$
 .

L'elettrone esce dal condensatore con velocità verticale:

$$v_y = a t_1 = \frac{eE}{m} t_1 \simeq \frac{1,6 \cdot 10^{-19} C \cdot 4,13 \cdot 10^3 N/C}{9,11 \cdot 10^{-31} kg} \cdot 4,13 \cdot 10^{-9} s \simeq 3,00 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$$
 .

Quindi la velocità di uscita è: $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} \simeq \sqrt{5,45^2 + 3^2} \cdot 10^6 \frac{m}{s} \simeq 6,22 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$.

5. L'energia iniziale dell'elettrone è la somma dell'energia cinetica e di quella potenziale:

$$E_{in} = \frac{1}{2} m v_0^2 - k \frac{q_e}{r}$$
 . Se l'elettrone arriva all'infinito, la sua energia potenziale si annulla, mentre

l'energia cinetica è positiva o nulla (se ci arriva "fermo"). Imponiamo quindi:

$$\frac{1}{2} m v_0^2 - k \frac{q_e}{r} \geq 0 \Rightarrow v_0 \geq \sqrt{\frac{2kq_e}{mr}} \simeq \sqrt{\frac{2 \cdot 8,99 \cdot 10^9 \cdot 1,8 \cdot 10^{-15} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 2,7 \cdot 10^{-3}}} \simeq 4,59 \cdot 10^4 \frac{m}{s}$$
 .

Se l'elettrone descrive una traiettoria circolare, la forza di attrazione elettrostatica della sfera

agisce come forza centripeta: $\frac{m v_1^2}{r} = k \frac{q_e}{r^2} \Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{kq_e}{mr}} = \frac{v_0}{\sqrt{2}} \simeq 3,25 \cdot 10^4 \frac{m}{s}$.

6. Imponiamo la conservazione dell'energia nel tratto in cui l'elettrone viene accelerato:

$$\frac{1}{2} m v^2 = eV \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \simeq \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 550}{9,11 \cdot 10^{-31}}} \simeq 1,39 \cdot 10^7 \frac{m}{s}$$
 .

Nel moto circolare, la forza di Lorentz agisce come forza centripeta:

$$\frac{m v^2}{r} = e v B \Rightarrow B = \frac{m v}{e r} \simeq \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 1,39 \cdot 10^7}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,17} \simeq 4,66 \cdot 10^{-4} T$$
 .

7. Imponiamo che la forza di Lorentz agisca come forza centripeta: $\frac{m v^2}{r} = q v B \Rightarrow r = \frac{m v}{q B}$.

Quindi, se elettrone e protone hanno stessa quantità di moto: $m_e v_e = m_p v_p \Rightarrow r_e / r_p = 1$.

Se, invece, elettrone e protone hanno stessa energia cinetica:

$$m_e v_e^2 = m_p v_p^2 \Rightarrow \frac{v_e}{v_p} = \sqrt{\frac{m_p}{m_e}} \Rightarrow \frac{r_e}{r_p} = \frac{m_e v_e}{m_p v_p} = \frac{m_e}{m_p} \sqrt{\frac{m_p}{m_e}} = \sqrt{\frac{m_e}{m_p}} \simeq \sqrt{\frac{9,11 \cdot 10^{-31} kg}{1,67 \cdot 10^{-27} kg}} \simeq 2,34 \cdot 10^{-2}$$
 .

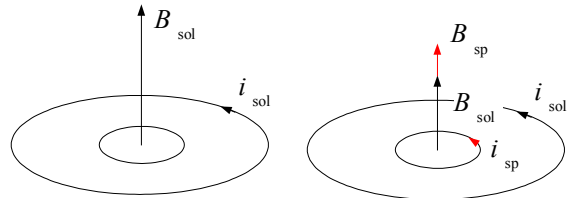
8. Il campo magnetico del solenoide è: $B = \mu_0 \frac{N}{l} i \simeq 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{10^3}{0,2} \cdot 2 \simeq 4\pi \cdot 10^{-3} T$.

La spira è quindi attraversata da un flusso: $\Phi(B) = B \pi r^2 \simeq 4\pi \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 10^{-4} \simeq 4\pi^2 \cdot 10^{-7} Wb$.

La f.e.m. indotta nella spira è: $f = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \simeq \frac{4\pi^2 \cdot 10^{-7}}{0,1} \simeq 3,95 \cdot 10^{-5} V$.

La corrente indotta ha intensità: $i = \frac{f}{R} \simeq \frac{3,95 \cdot 10^{-5}}{2} \simeq 1,97 \cdot 10^{-5} A$.

Per la legge di Lenz, la corrente indotta deve essere tale da opporsi alla causa che l'ha generata. In questo caso, la causa che genera la corrente indotta è la diminuzione del campo magnetico concatenato

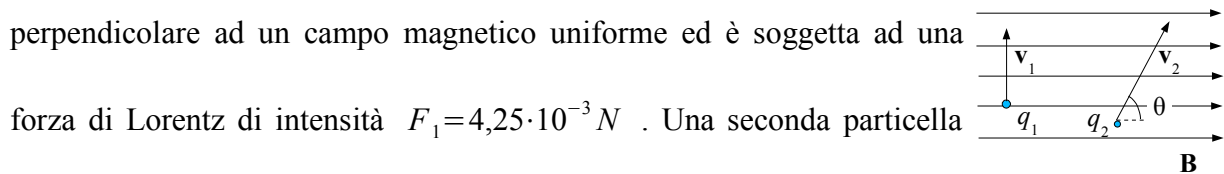


ad essa. Pertanto, la corrente indotta deve avere verso tale da opporsi a tale diminuzione, e quindi lo stesso verso della corrente che circolava inizialmente nel solenoide.

1. Scrivi (in formula) le leggi che determinano flusso e circuitazione dei campi elettrico e magnetico (statici) e spiegate il significato fisico (*max 10 righe*).

2. Descrivi schematicamente il principio di funzionamento di un motore a corrente continua.

3. Una particella di carica $q_1=3,60\mu C$ si muove con velocità $v_1=862m/s$ in direzione perpendicolare ad un campo magnetico uniforme ed è soggetta ad una

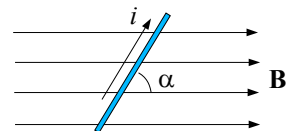


forza di Lorentz di intensità $F_1=4,25\cdot 10^{-3} N$. Una seconda particella

di carica $q_2=53,0\mu C$ si muove con velocità $v_2=1,30\cdot 10^3 m/s$ in una direzione che forma un angolo $\theta=55,0^\circ$ rispetto al campo magnetico. Calcola l'intensità del campo magnetico e l'intensità, la direzione e il verso della forza di Lorentz che agisce sulla seconda particella.

4. Un elettrone si muove perpendicolarmente ad un campo magnetico di intensità $B=4,60\cdot 10^{-3} T$ lungo una traiettoria circolare di raggio $r=2,80 mm$. Calcola la velocità dell'elettrone ed il suo periodo, dopo aver ricavato le rispettive formule. Cosa puoi osservare sul periodo? Rappresenta graficamente la situazione, evidenziando la direzione del campo e quella del vettore velocità.

5. Un filo conduttore di lunghezza $l=50,0 cm$ è posto in un campo magnetico uniforme di intensità $B=2,50 T$. Il filo forma un angolo

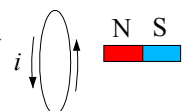


$\alpha=60,0^\circ$ con le linee di campo, e su di esso agisce una forza $F=2,20 N$. Determina

l'intensità della corrente che scorre nel conduttore e la direzione e il verso della forza.

6. Due fili conduttori rettilinei e paralleli posti a distanza $d=50 cm$ sono attraversati dalle correnti $i_1=10 mA$ e i_2 . Su un tratto di lunghezza $l=10 cm$ del primo filo si osserva una forza repulsiva $F_1=8\cdot 10^{-12} N$. Con quale intensità e in che verso scorre la corrente i_2 ? Calcola la forza F_2 che agisce su un tratto l del secondo filo.

7. Cosa succede quando si avvicina il polo Nord di un magnete ad una spira percorsa da corrente in senso antiorario? Perché?



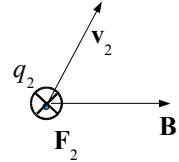
4^A - Correzione compito fisica n°4

1. Vedi pagg. 282-284 libro di testo e appunti forniti dall'insegnante.
2. Vedi pag.297 libro di testo.

$$3. B = \frac{F_1}{q_1 v_1} = \frac{4,25 \cdot 10^{-3} N}{3,60 \cdot 10^{-6} C \cdot 862 m/s} \simeq 1,37 T ;$$

$$F_2 = q_2 v_2 B \sin \theta \simeq 53,0 \cdot 10^{-6} C \cdot 1,30 \cdot 10^3 m/s \cdot 1,37 T \cdot \sin 55^\circ \simeq 7,73 \cdot 10^{-2} N .$$

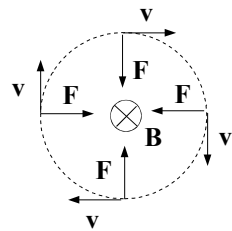
\vec{F}_2 è perpendicolare al piano del foglio ed entrante rispetto ad esso.



4. Imponiamo che la forza di Lorentz agisca come forza centripeta: $eqvB = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow$

$$v = \frac{erB}{m} \simeq \frac{1,60 \cdot 10^{-19} C \cdot 2,80 \cdot 10^{-3} m \cdot 4,60 \cdot 10^{-3} T}{9,11 \cdot 10^{-31} kg} \simeq 2,26 \cdot 10^6 \frac{m}{s} ;$$

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{eB} \simeq \frac{2\pi \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} kg}{1,60 \cdot 10^{-19} C \cdot 4,60 \cdot 10^{-3} T} \simeq 7,78 \cdot 10^{-9} s .$$

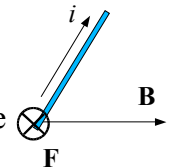


Osserviamo che il periodo di rotazione non dipende dalla velocità.

Per la rappresentazione grafica, ricordiamo che l'elettrone ha carica negativa.

5. L'intensità della corrente è: $i = \frac{F}{lB \sin \alpha} \simeq \frac{2,20 N}{0,5 m \cdot 2,50 T \cdot \sin 60^\circ} \simeq 2,03 A .$

Per la regola della mano destra, la forza agente sul filo ha direzione perpendicolare al piano del disegno e verso entrante in esso.

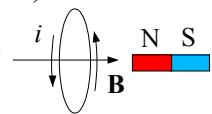


6. Ricaviamo: $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 i_2}{d} \Rightarrow i_2 = \frac{2\pi Fd}{\mu_0 l i_1} \simeq \frac{8 \cdot 10^{-12} N \cdot 0,5 m}{2 \cdot 10^{-7} N/A^2 \cdot 0,1 m \cdot 10^{-2} A} \simeq 2,00 \cdot 10^{-2} A .$

Poiché la forza tra i conduttori è repulsiva, le correnti scorrono in verso opposto.

$F_2 = F_1$ per il terzo principio della dinamica (o, se preferisci, perché la formula della forza tra due fili percorsi da corrente è simmetrica rispetto allo scambio tra i due conduttori).

7. La spira equivale ad un dipolo magnetico avente il polo Nord rivolto verso il polo Nord del magnete, per cui spira e magnete si respingono.



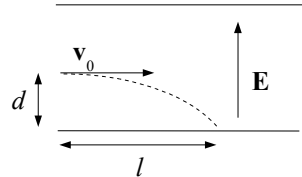
1. Una carica elettrica si muove di moto uniforme lungo una circonferenza di raggio r sotto l'azione di un campo magnetico B . Quale sarà il raggio della traiettoria se il campo vale $2B$?
2. Come sono le linee del campo magnetico generato da un filo rettilineo percorso da corrente?
3. Un solenoide di lunghezza $l=10\text{ cm}$ è formato da 400 spire percorse da una corrente $i=2\text{ A}$.
Calcola l'intensità del campo magnetico all'interno del solenoide.
4. Due fili rettilinei paralleli di lunghezza $l=30\text{ cm}$ posti a distanza $d=1\text{ cm}$ sono percorsi dalle correnti $i_1=0,5\text{ A}$, $i_2=1\text{ A}$. Determina il modulo della forza tra i due fili.
5. Un filo rettilineo molto lungo percorso da corrente i genera a distanza d un campo magnetico B .
Se il filo è percorso da corrente $2i$, che valore assume il campo magnetico a distanza $d/2$?
6. Una spira percorsa da corrente è immersa in un campo magnetico uniforme. Per quale valore dell'angolo formato dai vettori \vec{S} e \vec{B} il momento torcente è massimo?
7. Una carica elettrica q si muove con velocità v per un tempo t in un campo magnetico uniforme B .
Calcola il lavoro compiuto sulla particella dalla forza di Lorentz.
8. Cos'è un'onda trasversale?
9. Due onde si propagano nello stesso mezzo con frequenze tali che $f_2=3f_1$.
Calcola il rapporto λ_2/λ_1 .
10. Due onde con uguale frequenza e fase giungono nello stesso punto dello spazio.
Qual è la condizione perché nel punto si verifichi interferenza distruttiva?
11. Un'onda armonica di lunghezza d'onda $\lambda=700\text{ m}$ si propaga con velocità $v=1500\text{ m/s}$.
Calcola la sua frequenza.
12. Un'onda sonora si propaga in mare con velocità $v=1520\text{ m/s}$. A quale profondità h si trova il fondale se il segnale sonar emesso da una nave richiede un tempo di ricezione $\Delta t=1,05\text{ s}$?
13. In quale caso un'onda subisce diffrazione?
14. In quale caso due sorgenti si dicono coerenti?

4^A - Risposte compito fisica n°4

1. Poiché $r = \frac{mv}{qB}$, se $B \rightarrow 2B$, allora $r \rightarrow \frac{r}{2}$.
2. Sono circonferenze concentriche giacenti su piani perpendicolari al filo ed aventi centro nel punto in cui il filo interseca il piano di giacenza.
3. $B = \mu_0 \frac{N}{l} i = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{400}{0,1} \cdot 2 \simeq 1,01 \cdot 10^{-2} T$.
4. $F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 i_2}{d} l = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{0,5 \cdot 1}{10^{-2}} \cdot 0,3 \simeq 3 \cdot 10^{-6} N$.
5. Poiché $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i}{d}$, se $i \rightarrow 2i$ e $d \rightarrow \frac{d}{2}$, allora $B \rightarrow 4B$.
6. Poiché $M = \mu B \sin \alpha$, il momento torcente è massimo quando $\alpha = \pi/2$.
7. Il lavoro è nullo, perché la forza di Lorentz è sempre perpendicolare alla velocità della particella, e quindi al suo spostamento istantaneo.
8. Quando la direzione di oscillazione è perpendicolare a quella di propagazione.
9. Poiché le onde si propagano nello stesso mezzo: $v_1 = v_2 \Rightarrow \lambda_1 f_1 = \lambda_2 f_2 \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{1}{3}$.
10. La differenza dei due cammini deve essere tale che: $|d_1 - d_2| = (n + \frac{1}{2})\lambda$ con $n \in \mathbb{N}$.
11. $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1500 \text{ m/s}}{700 \text{ m}} \simeq 2,14 \text{ Hz}$.
12. $h = v \frac{\Delta t}{2} = 1520 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1,05 \text{ s}}{2} \simeq 800 \text{ m}$.
13. Quando incontra un ostacolo o un'apertura avente dimensioni minori o comparabili alla lunghezza dell'onda.
14. Quando generano onde aventi differenza di fase costante.

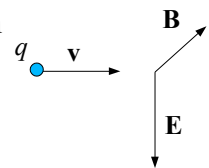
1. Un elettrone, che ha la velocità iniziale $v_0 = 1,00 \cdot 10^6 \text{ m/s}$, entra in una regione di spazio in cui è presente un campo elettrico uniforme che ha la stessa direzione e lo stesso verso della velocità dell'elettrone, di modulo $E = 50,0 \text{ N/C}$. Quanto misura il cammino percorso dall'elettrone prima di fermarsi ed invertire il proprio moto? Dopo quanto tempo l'elettrone si ferma?

2. Tra le armature di un condensatore è presente un campo elettrico di modulo $E = 200 \text{ N/C}$. Un elettrone entra nello spazio tra le armature con velocità iniziale $v_0 = 400 \text{ m/s}$, alla distanza $d = 2,00 \text{ cm}$



dall'armatura inferiore. A quale distanza l , lungo l'asse orizzontale, l'elettrone colpirà l'armatura inferiore? Dopo quanto tempo avverrà l'urto?

3. Un fascio di particelle entra in una zona di spazio in cui sono presenti un campo elettrico di modulo $E = 300 \text{ V/m}$ ed un campo magnetico di modulo $B = 0,200 \text{ T}$. I campi sono perpendicolari tra loro e rispetto alla direzione

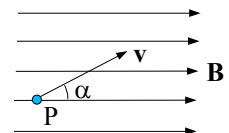


della velocità delle particelle. Quale carica e quale velocità devono possedere le particelle per attraversare la regione senza essere deviate?

4. Un fascio di elettroni, accelerati, a partire dalla quiete, da una differenza di potenziale V , si muovono in un campo magnetico di modulo B perpendicolarmente alle linee di campo percorrendo traiettorie circolari di raggio r . Se si raddoppia V e si dimezza B , come risulta il raggio delle nuove traiettorie?

5. Un elettrone si muove in un campo magnetico uniforme di modulo B .

Quando si trova nel punto P , la sua velocità v forma un angolo α con il



campo. Descrivi con precisione il moto dell'elettrone. Calcola dopo quanto tempo e a quale distanza dal punto P la traiettoria dell'elettrone interseca la stessa linea di campo magnetico.

6. Descrivi l'esperimento di Millikan e spiega cosa se ne può dedurre.

5^C - Fisica - Correzione compito n°5

1. L'elettrone si ferma quando il lavoro compiuto su di esso dal campo elettrico è uguale alla sua

energia cinetica: $\frac{1}{2}mv^2 = eEs \Rightarrow s = \frac{mv^2}{2eE} \simeq \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 10^{12} \text{ m}^2/\text{s}^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 50 \text{ N/C}} \simeq 5,69 \cdot 10^{-2} \text{ m}$.

Per trovare il tempo di arresto, impongo che la velocità finale dell'elettrone sia uguale a zero:

$$v = at + v_0 = 0 \Rightarrow t = -\frac{v_0}{a} = \frac{mv_0}{eE} \simeq \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 10^6 \text{ m/s}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 50 \text{ N/C}} \simeq 1,14 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$
 .

2. L'urto avviene quando: $d = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow t_1 = \sqrt{\frac{2md}{eE}} \simeq \sqrt{\frac{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 200 \text{ N/C}}} \simeq 3,37 \cdot 10^{-8} \text{ s}$.

In questo intervallo di tempo, lo spostamento orizzontale dell'elettrone è:

$$l = v_0 t_1 \simeq 400 \text{ m/s} \cdot 3,37 \cdot 10^{-8} \text{ s} \simeq 1,35 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$
 .

3. La carica è indifferente, in quanto, nella configurazione indicata in figura, le forze dovute al campo elettrico ed al campo magnetico hanno sempre verso opposto. Perché le particelle non vengano deviate, le forze devono avere lo stesso modulo:

$$qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B} \simeq \frac{300 \text{ V/m}}{0,2 \text{ T}} \simeq 1.500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
 .

4. Gli elettroni acquistano un'energia cinetica data da: $\frac{1}{2}mv^2 = eV \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$.

Ricordiamo che il raggio di ciclotrone si ottiene imponendo che la forza di Lorentz agisca come

forza centripeta: $evB = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv}{eB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mV}{e}}$. Quindi, se si raddoppia V e si dimezza B, il raggio risulta moltiplicato per $2\sqrt{2}$.

5. Nel piano perpendicolare al campo magnetico, il moto dell'elettrone è circolare uniforme con velocità $v \sin \alpha$. Lungo la direzione del campo, invece, il moto è uniforme con velocità $v \cos \alpha$. La traiettoria dell'elettrone interseca la stessa linea di campo magnetico quando l'elettrone ha descritto una circonferenza completa nel piano perpendicolare al campo.

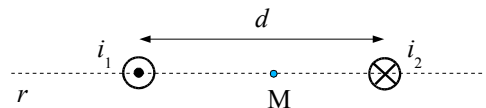
Questo avviene dopo un periodo completo: $T = \frac{2\pi r}{v \sin \alpha} = \frac{2\pi m}{eB}$ (osserva che il periodo di questo moto è indipendente dalla velocità!). In un periodo, l'elettrone ha percorso una distanza

orizzontale $l = vT \cos \alpha = \frac{2\pi m v \cos \alpha}{eB}$.

6. Vedi pagg. 217-218 libro di testo.

1. Descrivi schematicamente il principio di funzionamento del galvanometro a bobina mobile e del motore elettrico a corrente continua (*massimo 15 righe, ma proprio massimo massimo...*).
2. Alla distanza di 25 cm da un filo rettilineo molto lungo percorso da una corrente continua, il campo magnetico generato dal filo stesso vale 10^{-5} T . Determina l'intensità della corrente che fluisce nel filo e rappresenta direzione e verso del campo in maniera coerente con il senso in cui scorre la corrente.
3. Un filo conduttore lungo $35,0\text{ cm}$, percorso da una corrente di intensità $3,50\text{ A}$, è immerso in un campo magnetico uniforme di modulo $B=0,002\text{ T}$ e forma un angolo di 40° con il vettore \vec{B} . Determina direzione e modulo della forza agente sul filo.

4. Due fili indefiniti e paralleli sono percorsi da correnti in versi opposti e si trovano alla distanza $d=20\text{ cm}$.



Sapendo che la corrente è $i_1=12\text{ A}$ nel filo di sinistra e $i_2=6\text{ A}$ in quello di destra, determina modulo, direzione e verso del campo \vec{B} nel punto M equidistante dai due fili.

Determina modulo, direzione e verso della forza per unità di lunghezza agente su ciascun filo.

Individua un punto P sulla retta r in cui il campo B è nullo.

5. Applica il teorema di Ampère per ricavare il modulo del campo magnetico all'interno di un solenoide lungo 20 cm , costituito da 500 spire di filo conduttore e percorso da una corrente di intensità 2 A . Precisa direzione e verso del campo.
6. Una spira quadrata di lato 20 cm e percorsa da una corrente di intensità 5 A è immersa in un campo magnetico uniforme di modulo $B=0,1\text{ T}$ che forma un angolo di 30° con il piano della spira stessa. Determina modulo, direzione e verso del momento torcente agente sulla bobina.
7. Se una carica si muove in un filo rettilineo molto lungo alla velocità v , genera un campo magnetico attorno al filo? Perché? Se un osservatore si muove parallelamente al filo alla stessa velocità della carica, osserva un campo magnetico? *Come puoi conciliare questo fatto con il principio di relatività galileiana?*

1. Vedi pagg. 189-191 Caforio-Ferilli.

2. Per la legge di Biot e Savart:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \Rightarrow i = \frac{2\pi r B}{\mu_0} = \frac{2\pi \cdot 0,25 \cdot 10^{-5}}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 12,5 \text{ A} .$$

3. $F = i l B \sin \theta = 3,5 \text{ A} \cdot 0,35 \text{ m} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot \sin 40^\circ \approx 1,57 \cdot 10^{-3} \text{ N} .$

4. Campo magnetico nel punto M: $B_M = \frac{\mu_0 (i_1 + i_2)}{2\pi d/2} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 18}{0,1} = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ T}$; la direzione è quella perpendicolare alla retta r ; il verso è rivolto in alto.

$$\text{Forza per unità di lunghezza agente su ciascun filo: } \frac{F}{l} = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi d} = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot 12 \cdot 6}{0,2} = 7,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{m}} .$$

La direzione è quella della retta r ; il verso è rivolto all'esterno (forza repulsiva).

Indico x la distanza tra P ed il filo in cui scorre la corrente i_2 . Avrò quindi:

$$\frac{\mu_0 i_2}{2\pi x} = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi x+d} \Rightarrow (x+d)i_2 = x i_1 \Rightarrow x = \frac{i_2}{i_1 - i_2} d = 0,2 \text{ m} .$$

Quindi il punto P si trova 20 cm a destra del filo in cui scorre la corrente i_2 .

5. Considerando il percorso rettangolare in figura, abbiamo: $C(\vec{B}) = Bx$;

$$\mu_0 i_{conc} = \mu_0 N i = \mu_0 n x i , \text{ da cui:}$$

$$B = \mu_0 n i = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}} \cdot \frac{500}{0,2 \text{ m}} \cdot 2 \text{ A} \approx 6,28 \cdot 10^{-3} \text{ T} .$$

Il campo è uniforme e parallelo all'asse del solenoide; il verso è quello da cui si vede la corrente ruotare in senso antiorario.

6. Il modulo del momento magnetico della spira è dato da:

$$\mu = i S = 5 \text{ A} \cdot (0,2 \text{ m})^2 = 0,2 \text{ A} \cdot \text{m}^2 .$$

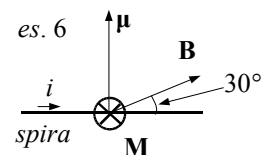
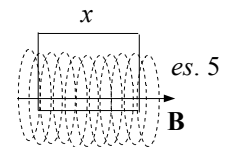
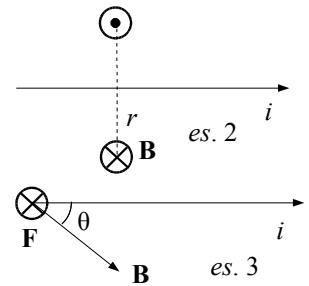
Sulla spira agisce quindi un momento torcente di modulo:

$$M = \mu B \sin \theta = 0,2 \text{ A} \cdot \text{m}^2 \cdot 0,1 \text{ T} \cdot \sin 60^\circ \approx 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m} .$$

7. Una carica in movimento costituisce una corrente, e quindi genera un campo magnetico.

L'osservatore in moto alla stessa velocità della carica la vede in quiete, e quindi non percepisce alcun campo magnetico.

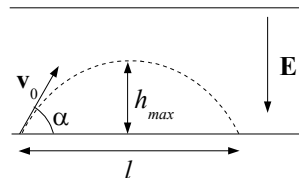
Questo fatto non si concilia in alcun modo con il principio di relatività galileiana che, infatti, dice che le leggi della meccanica sono le stesse per osservatori in moto rettilineo uniforme l'uno rispetto all'altro. Per fare in modo che anche le leggi dell'elettromagnetismo siano invarianti, è necessario introdurre delle trasformazioni diverse da quelle di Galileo, dette trasformazioni di Lorentz.



1. Un protone, la cui massa è $m \simeq 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, viene lanciato alla velocità iniziale $v_0 = 150 \text{ m/s}$ con un angolo $\alpha = 60^\circ$ rispetto alla direzione orizzontale, in una zona di spazio in cui è presente un campo elettrico uniforme, rivolto verso il basso, di intensità $E = 2 \cdot 10^{-4} \text{ N/C}$.

Calcola con tre cifre significative il tempo in cui il protone rimane in volo,

la gittata l del lancio e l'altezza massima h_{max} raggiunta dal protone.

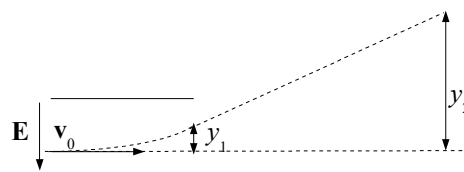


Descrivi in maniera dettagliata la traiettoria seguita dal protone se il

campo elettrico viene sostituito da un campo magnetico di modulo $B = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$.

2. Tra due armature a facce piane e parallele di lunghezza $l = 2 \text{ cm}$ è presente un campo elettrico uniforme di modulo $E = 2 \cdot 10^4 \text{ N/C}$. Un elettrone, di massa $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, entra nello spazio tra le due armature con velocità $v_0 = 3 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ parallela alle armature stesse, viene deflesso e colpisce uno schermo fluorescente posto ad una distanza $L = 60 \text{ cm}$ dall'estremità delle placche. Determina con tre cifre significative la posizione y_1

dell'elettrone nell'istante in cui esce dalle armature e la posizione y_2 dell'elettrone nell'istante in cui colpisce lo



schermo. L'elettrone può attraversare lo spazio tra le armature senza subire una deflessione se introduciamo tra le armature stesse un campo magnetico uniforme. Trovane direzione e modulo.

3. Nel modello di Bohr dell'atomo di idrogeno, un elettrone ruota intorno ad un protone su un'orbita circolare. Se il raggio dell'orbita è $r \simeq 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, quanto vale la sua velocità?

4. Una gocciolina di olio cade, sotto l'effetto congiunto del suo peso e della forza di attrito con l'aria

$$F_{att} = 6\pi\eta r v, \text{ con una velocità di deriva } v, \text{ che possiamo misurare. Conoscendo } v, \eta, \text{ e la}$$

densità ρ dell'olio, calcola il raggio della gocciolina.

5. Spiega in non più di tre righe per ogni risposta:

- cosa ha dimostrato l'esperimento di Millikan;
- quale è stata l'importanza dell'esperimento di Thomson;
- cosa possiamo verificare con l'effetto Hall;
- cosa sono le fasce di Van Allen.

1. Equazioni del moto:
$$\begin{cases} a_x=0 \\ a_y=-\frac{qE}{m} \end{cases} ; \begin{cases} v_x=v_0 \cos \alpha \\ v_y=-\frac{qE}{m}t+v_0 \sin \alpha \end{cases} ; \begin{cases} x=v_0 t \cos \alpha \\ y=-\frac{qE}{2m}t^2+v_0 t \sin \alpha \end{cases} .$$

Tempo di volo: $y=0 \Rightarrow t_{\text{volo}} = \frac{2m v_0 \sin \alpha}{qE} \simeq \frac{2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 150 \text{ m/s} \cdot \sqrt{3}/2}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ N/C}} \simeq 1,35 \cdot 10^{-2} \text{ s} .$

Gittata: $l = v_0 t_{\text{volo}} \cos \alpha \simeq 150 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,35 \cdot 10^{-2} \text{ s} \cdot \frac{1}{2} \simeq 1,01 \text{ m} .$

Altezza massima: $v_y=0 \Rightarrow t_{\text{max}} = \frac{m v_0 \sin \alpha}{qE} = \frac{1}{2} t_{\text{volo}} \simeq 6,75 \cdot 10^{-3} \text{ s} ,$ da cui:

$$h_{\text{max}} = -\frac{qE}{2m} t_{\text{max}}^2 + v_0 t_{\text{max}} \sin \alpha = \frac{m v_0^2 \sin^2 \alpha}{2qE} \simeq \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (150 \text{ m/s})^2 \cdot 3/4}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ N/C}} \simeq 0,439 \text{ m} .$$

L'ultimo risultato può essere ottenuto anche applicando la conservazione dell'energia.

In presenza di un campo magnetico **B**, il protone compie una traiettoria elicoidale, composizione di un moto rettilineo uniforme verso l'alto, con velocità $v_y = v_0 \sin \alpha \simeq 130 \text{ m/s}$, e di un moto circolare uniforme nel piano perpendicolare all'asse *y*, il cui raggio è dato da:

$$\frac{m v_x^2}{r} = q v_x B \Rightarrow r = \frac{m v_0 \cos \alpha}{qB} \simeq \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 150 \text{ m/s} \cdot 1/2}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ T}} \simeq 6,52 \cdot 10^{-4} \text{ m} .$$

2. L'elettrone attraversa le armature in un tempo $t_1 = \frac{l}{v_0} = \frac{0,02 \text{ m}}{3 \cdot 10^7 \text{ m/s}} \simeq 6,67 \cdot 10^{-10} \frac{\text{m}}{\text{s}}$, e subisce una

deviazione: $y_1 = \frac{1}{2} \frac{qE}{m} t_1^2 \simeq \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2 \cdot 10^4 \text{ N/C} \cdot (6,67 \cdot 10^{-10} \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} \simeq 7,81 \cdot 10^{-4} \text{ m} .$

Quando esce dalle armature, ha acquisito una velocità verso l'alto:

$$v_y = \frac{qE}{m} t_1 \simeq \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2 \cdot 10^4 \text{ N/C} \cdot 6,67 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} \simeq 2,34 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} .$$

Da quel momento, la traiettoria è rettilinea, e forma con la direzione della velocità iniziale un

angolo: $\theta = \text{arc tg} \frac{v_y}{v_x} \simeq \text{arc tg} \frac{2,34 \cdot 10^6 \text{ m/s}}{3 \cdot 10^7 \text{ m/s}} \simeq 4,46^\circ$. Lo spostamento complessivo è quindi:

$$y_2 = y_1 + L \operatorname{tg} \theta \simeq 0,078 \text{ cm} + 60 \text{ cm} \cdot \operatorname{tg} 4,46^\circ \simeq 0,078 \text{ cm} + 4,68 \text{ cm} \simeq 4,76 \text{ cm} .$$

Per avere una deflessione nulla: $qE = qv_0B \Rightarrow B = \frac{E}{v_0} = \frac{2 \cdot 10^4 \text{ N/C}}{3 \cdot 10^7 \text{ m/s}} \simeq 6,67 \cdot 10^{-4} \text{ T}$, ed il campo

magnetico deve essere perpendicolare al piano del foglio ed entrante nel foglio stesso.

3. Se l'orbita è circolare, deve essere presente una forza centripeta, che è la forza di Coulomb:

$$\frac{m_e v^2}{r} = \frac{kq^2}{r^2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{kq^2}{m_e r}} \simeq \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 0,529 \cdot 10^{-10}}} \simeq 2,19 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}} .$$

4. Nel momento in cui l'attrito con l'aria equilibra il peso della goccia, abbiamo:

$$mg = 6\pi\eta r v \Rightarrow \rho \frac{4}{3}\pi r^3 g = 6\pi\eta r v \Rightarrow r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2\rho g}} .$$

5. Millikan: che la carica elettrica è quantizzata.

Thomson: misura del rapporto e/m dell'elettrone.

Che i portatori di carica nei metalli sono cariche negative.

Regioni di spazio in cui il campo magnetico terrestre intrappola un gran numero di particelle cariche.

1. Definisci i concetti di flusso e circuitazione di un campo vettoriale. Enuncia e giustifica le leggi su flusso e circuitazione dei campi elettrico e magnetico (statici) e spiegate il significato fisico.
2. Un filo conduttore lungo 20 cm, percorso da una corrente di intensità 10 A, è immerso in un campo magnetico uniforme di modulo $B=0,3 T$. Se il filo forma un angolo di 40° con il vettore \vec{B} , determina direzione e modulo della forza agente sul filo.
3. Un filo conduttore rettilineo molto lungo è percorso da una corrente di intensità 15 A. Trova modulo e direzione del campo magnetico alla distanza di 30 cm dal filo.
4. Applica il teorema di Ampère per ricavare il modulo del campo magnetico all'interno di un solenoide lungo 15 cm, costituito da 300 spire di filo conduttore e percorso da una corrente di intensità 5 A.
5. Due fili conduttori rettilinei e paralleli, lunghi 30 cm, sono posti alla distanza di 10 cm l'uno dall'altro. Se uno è percorso da una corrente di intensità 5 A in un dato verso, mentre l'altro è percorso da una corrente di intensità 7 A in verso opposto, determina direzione e modulo della forza agente su ciascun filo.
6. Una bobina circolare di 10 cm di diametro, formata da 10 spire di filo conduttore e percorsa da una corrente di intensità 10 A viene posta in un campo magnetico uniforme di modulo 0,5 T che forma un angolo di 30° con il piano della bobina stessa. Determina direzione e modulo del momento torcente agente sulla bobina.
7. Nel modello di Bohr dell'atomo di idrogeno, un elettrone ruota intorno ad un protone alla distanza $r=5,3 \cdot 10^{-11} m$ ed alla velocità $v=2,2 \cdot 10^6 m/s$. Determina direzione e modulo del campo magnetico nella posizione del protone dovuto al movimento dell'elettrone.

(Il modulo del campo magnetico al centro di una spira percorsa da corrente è: $B = \frac{\mu_0 i}{2r}$).

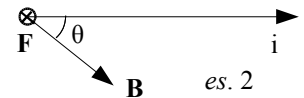
Nel sistema di riferimento in cui l'elettrone è in quiete ed il protone gli ruota intorno, determina direzione e modulo del campo magnetico nella posizione dell'elettrone dovuto al movimento del protone.

1. Flusso di un campo vettoriale \vec{v} attraverso superficie S: $\Phi(\vec{v}) = \sum \vec{v}_i \cdot \vec{S}_i = \sum v_i S_i \cos \theta_i$, dove la sommatoria è eseguita sugli elementi di superficie tali che \vec{v} resti costante (in direzione e modulo) sull'elemento stesso. Circuitazione di un campo vettoriale lungo una linea chiusa:

$$C(\vec{v}) = \sum \vec{v}_i \cdot \vec{l}_i = \sum v_i l_i \cos \theta_i, \text{ con la stessa condizione.}$$

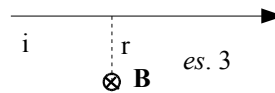
Teorema Gauss: attraverso superficie chiusa $\Phi(\vec{E}) = \frac{q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$; spiegazione a pag. 45; le cariche

sono le sorgenti del campo elettrico. $C(\vec{E}) = 0$; spiegazione in classe; il campo elettrico è conservativo. Attraverso superficie chiusa: $\Phi(\vec{B}) = 0$; non esistono cariche magnetiche; le linee di forza del campo magnetico sono chiuse. Teorema Ampère: $C(\vec{B}) = \mu_0 i_{\text{conc}}$; spiegazione a pag. 184; campo magnetico non è conservativo.



2. $F = IlB \sin \theta = 10 \text{ A} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ T} \cdot \sin 40^\circ \simeq 0,386 \text{ N}$.

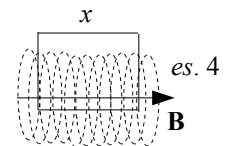
3. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \cdot 15 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,3 \text{ m}} = 10^{-5} \text{ T}$.



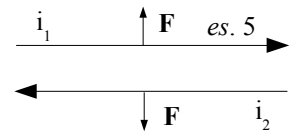
4. Considerando il percorso rettangolare in figura, abbiamo: $C(\vec{B}) = Bx$;

$$\mu_0 i_{\text{conc}} = \mu_0 N I = \mu_0 n x I, \text{ da cui:}$$

$$B = \mu_0 n I = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}} \cdot \frac{300}{0,15 \text{ m}} \cdot 5 \text{ A} \simeq 1,26 \cdot 10^{-2} \text{ T}$$



5. $F = \frac{\mu_0 l I_1 I_2}{2\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 5 \text{ A} \cdot 7 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,1 \text{ m}} = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ N}$.

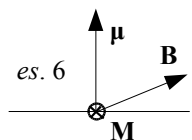


6. Il modulo del momento magnetico della spira è dato da:

$$\mu = NIS = 10 \cdot 10 \text{ A} \cdot \frac{\pi \cdot (0,1 \text{ m})^2}{4} \simeq 0,785 \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

Sulla spira agisce quindi un momento torcente di modulo:

$$M = \mu B \sin \theta \simeq 0,785 \text{ A} \cdot \text{m}^2 \cdot 0,5 \text{ T} \cdot \sin 60^\circ \simeq 0,34 \text{ N} \cdot \text{m}$$



7. Il periodo di rotazione dell'elettrone è: $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \cdot 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}}{2,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}} \simeq 1,51 \cdot 10^{-16} \text{ s}$.

L'intensità di corrente dovuta alla rotazione dell'elettrone è: $i = \frac{e}{T} \simeq \frac{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{1,51 \cdot 10^{-16} \text{ s}} \simeq 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ A}$.

Il campo magnetico dovuto all'elettrone ha modulo:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \cdot 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ A}}{2 \cdot 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}} \simeq 12,55 \text{ T}$$

Il campo dovuto al protone ha stesso modulo, ma verso opposto.

