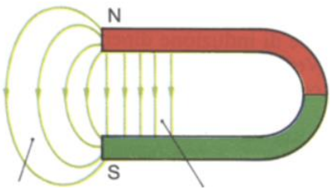
MAGNETISMO: polarità, CAMPI di FORZA

scusa la banalità di questi appunti: ti sarei grato se mi segnalassi errori.

Sappiamo che una calamita (detta anche magnete) genera un *campo magnetico* cioè quella modificazione dello spazio circostante capace, ad esempio, di attrarre o di respingere un'altra calamita, a seconda che vi si accosti per opposizione o per uguaglianza dei **due poli, detti Nord e Sud**; ad esempio la nostra sfera terrestre ha un campo magnetico con il polo nord geografico che è un polo sud magnetico, per cui il polo nord dell'ago di una bussola si orienterà al nord geografico per attrazione tra poli opposti. Le ***linee del campo*** magnetico sono linee chiuse che escono dal polo nord del magnete e si chiudono dentro il magnete



campo NON uniforme   campo uniforme

Il campo magnetico si descrive con un vettore che in ogni punto dello spazio ha la direzione tangente alla linea del campo, il verso della linea, l'intensità misurata in *Tesla*[1]

Per chiarezza di riferimento, numeriamo le seguenti altre figure.

- fig.1. Il modulo del vettore **CAMPO MAGNETICO** generato da **un filo** percorso dalla corrente *I* e misurato in *Tesla* alla distanza *d* dal filo stesso nel vuoto è

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{d}$$ (*legge di Biot e Savart*.)

  dove μ_0 è la *costante fisica* detta *permeabilità magnetica nel vuoto*. Per la direzione e il verso del vettore $\vec{B}$ è indicata dalle dita chiuse della *mano destra* quando il pollice sia nel verso della corrente.
- fig.2. Se tu accostassi due calamite, avvertiresti una **FORZA** attrattiva o repulsiva: se il suddetto filo attraversato da corrente genera un campo magnetico attorno a sé, **due fili paralleli** percorsi da corrente genereranno due campi magnetici che interagiranno tra loro come due calamite, producendo sui due fili vicini una *forza attrattiva o repulsiva* perpendicolare ai fili

$$\vec{F} = \frac{I_1 I_2}{d}\frac{\mu_0}{2\pi} l$$

- fig.3. Se, invece di due campi suddetti, avessimo un solo **filo** rettilineo percorso da **CORRENTE** elettrica immerso **in un campo magnetico uniforme**, il *filo sarebbe soggetto ad un vettore forza* dato dalla intensità di corrente I per il prodotto vettoriale tra il vettore lunghezza $\vec{L}$ e il vettore campo magnetico $\vec{B}$ (con verso di $\vec{L}$ dato dal verso della corrente)

$$\vec{F} = I \cdot \vec{L} \times\cdot \vec{B} \qquad |F| = I \cdot L \cdot B \cdot sin\alpha$$ (attenzione: $\vec{L} \times\cdot \vec{B} \neq \vec{B} \times \vec{L}$)

  dove α è l'angolo compreso tra la direzione del filo e quella del campo magnetico; direzione e verso del vettore forza si ottengono con la regola della *mano destra*.

  Se il filo percorso da corrente fosse una ***spira*** di raggio R, il campo magnetico generato al suo **centro** sarebbe

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2}\frac{I}{R}$$ e se invece di una spira avessimo N spire, $\vec{B} = N\frac{\mu_0}{2}\frac{I}{R}$

  In tal caso il vettore $\vec{B}$ al centro della spira avrebbe direzione perpendicolare al piano della spira e verso in dicato dal pollice della *mano destra* chiudendone le dita nel verso della corrente.

  Se tale spira percorsa da corrente I fosse immersa in un campo magnetico $\vec{B}$, a che tipo di forze sarebbe soggetta? Per meglio capire pensiamo ad una spira rettangolare con due lati paralleli e due lati perpendicolari al campo $\vec{B}$: la forza sui lati paralleli al campo sarebbe nulla, mentre i vettori forza $\vec{F}$ agenti sui lati perpendicolari a $\vec{B}$ avrebbero verso opposto, essendo opposto il verso della corrente; se i due vettori fossero applicati nello spesso punto, la loro risultante sarebbe zero, ma, essendo applicati in punti diversi, formano una coppia torcente;

  Per definire il *momento torcente* generato da un campo magnetico $\vec{B}$ su una spira rigida percorsa dalla corrente I, dobbiamo prima definire il **vettore di superficie** $\vec{S}$: esso è perpendicolare alla superficie racchiusa dalla spira, ed ha verso come il campo generato dalla spira;

  Tale momento torcente, $\vec{\tau}$ misurato in N·m è dato da

$$\vec{\tau} = N \cdot I \cdot \vec{S} \times\cdot \vec{B} \qquad |\tau| = N \cdot I \cdot S \cdot B \cdot sin\alpha$$ (τ tau, la t greca) (N numero di spire)

  Nota che se la spira è parallela a $\vec{B}$, il *vettore* $\vec{S}$ è perpendicolare a $\vec{B}$

  Il vettore $\vec{\mu} = I \cdot \vec{S}$ si chiama anche momento (di dipolo) magnetico della spira.

- fig.4. Se, invece di un filo percorso da corrente I, avessimo una **CARICA ELETTRICA** puntiforme q che entra nel campo magnetico $\vec{B}$ con velocità $\vec{v}$, nella formula di figura 3 possiamo sostituire $I \cdot \vec{L}$ tenendo conto che la corrente elettrica nel filo di lunghezza L è un flusso di **CARICHE** elettriche

$$I = \frac{q}{t} = \frac{qv}{L} \quad \rightarrow \quad I \cdot \vec{L} = q \cdot \vec{v}$$

$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ detta *forza di Lorentz*, *prodotto vettoriale* $|F| = q \cdot v \cdot \mathrm{B} \cdot sin\alpha$

È una forza perpendicolare alla velocità della particella e al vettore campo con la *regola della mano destra*; (attenzione: il prodotto vettoriale non è commutativo: $\vec{v} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{v}$); trattasi di una *forza centripeta che costringe la particella a curvare* percorrendo una *traiettoria elicoidale*; il raggio di curvatura si può ricavare dalla formula della forza centripeta $F = \frac{mv^2}{r}$; vedi esercizio #18 in data 2023.12.07.

- fig.5. Il modulo del vettore campo magnetico all'interno di una **BOBINA** nel vuoto è

$B = \mu_0 \frac{n}{l} I$ (per numero *n* e lunghezza *l* vedi fig.5);

se invece del vuoto avessimo un materiale ferromagnetico all'interno della bobina, avremmo

$B = \mu_0 \mu_r \frac{n}{l} I$ dove μ_r è la *permeabilità magnetica relativa* che è un numero puro moltiplicativo.

- fig.6. Rispetto a fig.3, dove abbiamo visto che un filo percorso da corrente immerso in un campo magnetico subisce una forza, potremmo dire il viceversa: in un filo percorribile da corrente che viene forzato a muoversi tagliando le linee di forza di un campo magnetico, si induce una corrente. Per descrivere bene questo fenomeno, detto **INDUZIONE ELETTROMAGNETICA,** dobbiamo dare una misura alla quantità e di linee di forza tagliate dal movimento del filo nell'unità di tempo: allo scopo definiamo **FLUSSO MAGNETICO** del campo B passante per la superficie S il prodotto scalare

$\phi_S = B_\perp \cdot S = B \cdot S \cdot cos\alpha$ misurato in *Tesla/m²=Wb weber*,

dove α è l'angolo formato tra la perpendicolare alla superficie e le linee del campo magnetico. Se il perimetro della superficie è un filo percorribile da corrente, vi nascerebbe una corrente indotta ogni volta che si avesse una variazione del suddetto flusso magnetico attraverso la superficie, variazione che si potrebbe ottenere, ad esempio, ruotando la superficie da posizione perpendicolare a posizione parallela alle linee di flusso; è come se, al variare del flusso, nascesse una forza che spinge gli elettroni a muoversi dentro il conduttore eventualmente frenati da una resistenza *R*, forza che sarà tanto più grande quante più linee di flusso vengono tagliate nell'unità di tempo dal perimetro della superficie; la chiamiamo **FORZA ELETTROMOTRICE**, ed ecco la

legge di Faraday-Neumann: $f_{em} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$

che induce una corrente *i* frenata da *R* secondo la legge di Ohm $i = \frac{f_{em}}{R} = \frac{1}{R}\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$

--------.

Nota1: l'unità *Tesla* ha come sottomultiplo il Gauss ($1T = 10^{-4}G$) usato per misurare campi magnetici deboli come quello terrestre che varia da 0,25G a 0,75G.

[Pagina senza pretese di esaustività o imparzialità, modificata 03/02/2024; col colore grigio distinguo i miei commenti rispetto al testo attinto da altri]

Pagine correlate: aiuto allo studio in fisica e matematica;

fig.1↓

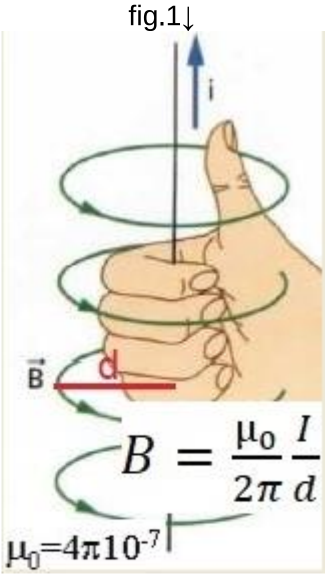
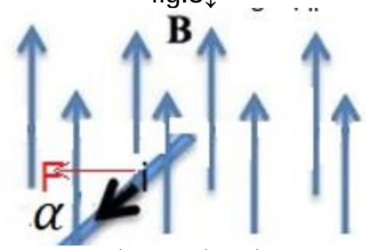


fig.2↓

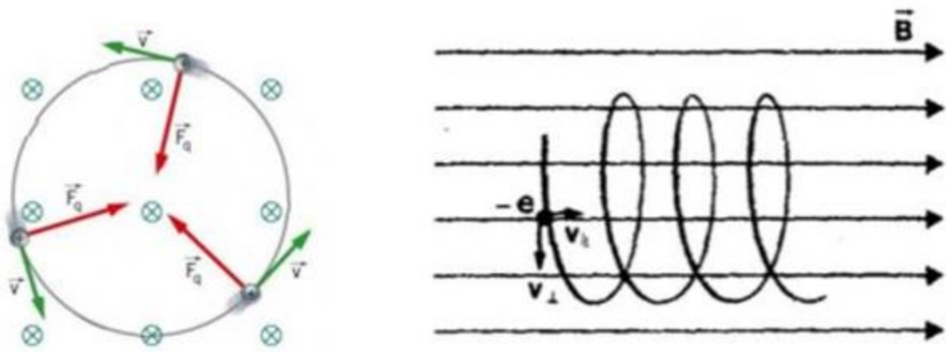
$$F = \frac{I_1 I_2}{d} \frac{\mu_0}{2\pi} L$$

fig.3↓



$$\vec{F} = I \cdot \vec{L} \times \vec{B}$$
$$|F| = I \cdot L \cdot B \cdot sin\alpha$$

fig.4↓



$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$
$$|F| = q \cdot v \cdot B \cdot sin\alpha$$

fig.5↓

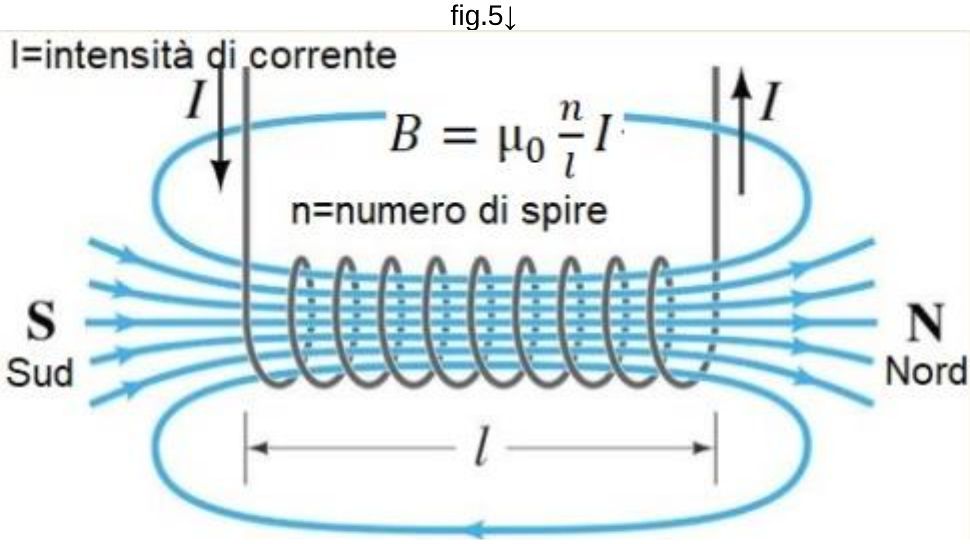
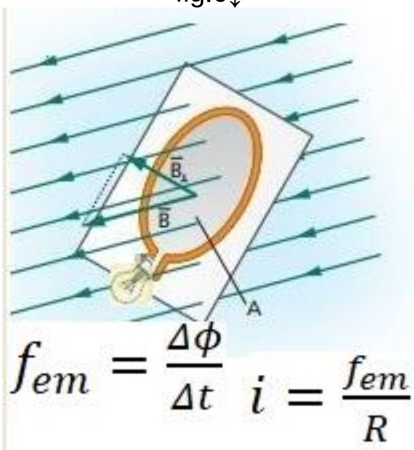
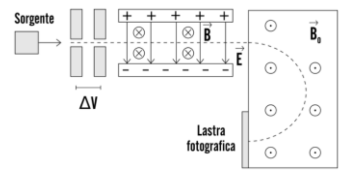


fig.6↓



↑2023.12.07 alcuni esercizi tratti da un libro di testo

#18 due piccolissime particelle aventi massa m1 ed m2 sono ionizzate con uguale carica elettrica e



partono da ferme accelerando a causa di una differenza di potenziale ΔV fino all'ingresso in uno spettrometro di massa, nel quale agisce un campo magnetico B perpendicolare alle velocità delle particelle. Sappiamo che in questo caso dentro lo spettrometro di massa le particelle avanzano con una traiettoria elicoidale, che per la particella m1 ha raggio r1.

Con i valori appresso assegnati in verde, calcola il raggio della traiettoria della particella m2

m1	m2	r1
2,3E-24	4E-24	0,15

Risp: la differenza di potenziale compie sulla carica un lavoro L = |ΔV·q| che per ciascuna particella sarà costituito dalla energia cinetica da essa acquistata, lavoro che sarà uguale per entrambe le particelle, dato che sia ΔV, sia q sono uguali per entrambe;

se L1=L2 avremo $\frac{1}{2}m_1{v_1}^2 = \frac{1}{2}m_2 v_2^2$ dal che $v_1/v_2 = \sqrt{m_2/m_1}$

|ΔV·q|=L=½mv²	v1/v2=radq(m2/m1)
m1·v1²/(m2·v2²)=1	1,319

(calcoli con formule excel)

Non conosciamo il valore delle due velocità (ovviamente diverse) diverse con le quali le due particelle entrano nello spettrometro, ma conosciamo **il rapporto delle due velocità**, che ci basterà per risolvere il problema.

Il campo magnetico è perpendicolare alla velocità, perciò la *forza di Lorentz* $|F| = q \cdot v \cdot \mathrm{B} \cdot sin\alpha$ con $sin\alpha = 1$ sarà $|F| = q \cdot v \cdot \mathrm{B}$; tale forza è perpendicolare alla velocità con la *regola della mano destra*; se la forza è perpendicolare alla velocità, non potrà aumentare o diminuire la velocità di avanzamento della particella, ma agirà come *forza centripeta* ($F = m\frac{v^2}{r}$) facendo ruotare la particella che, così, percorrerà una *traiettoria elicoidale*: per la prima particella avremo $q \cdot v_1 \cdot \mathrm{B} = m_1 \frac{{v_1}^2}{r_1}$ e per la seconda $q \cdot v_2 \cdot \mathrm{B} = m_2 \frac{{v_2}^2}{r_2}$; dividiamo membro a membro e semplifichiamo i quadrati ; per avere il rapporto v_2/v_1 basta invertire il rapporto v_1/v_2 che avevamo già calcolato; ricaveremo r_2

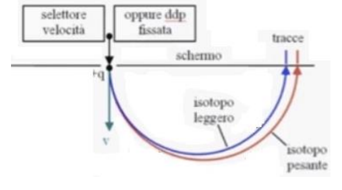
F1=q·v1·B	(m1·v1²/r1)/(m2·v2²/r2)=v1/v2	r2=r1·(V2/v1)·(m2/m1)
F2=q·v2·B	semplifica i quadrati	0,20

A cosa serve lo spettrometro di massa? Osserviamo che, se oltre alla forza di Lorentz (magnetica) non agiscono altre forze sulla particella dentro lo spettrometro di massa, se conoscessimo intensità del campo magnetico, carica della particella e sua velocità perpendicolare al campo, dalla misura del raggio di curvatura della traiettoria elicoidale potremmo ricavare la massa della particella

$$m = r \cdot q \cdot B/v$$

e, quindi, distinguere una particella da un'altra e quindi riconoscere di che particella si tratta. Analogamente potremmo conoscere la carica se conoscessimo la massa.

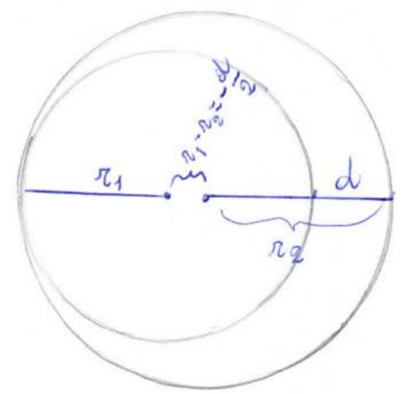
#19 Due piccolissime particelle aventi massa m1 ed m2 sono ionizzate con la carica di un elettrone e vengono lanciate con uguale velocità dentro uno spettrometro di massa con velocità perpendicolare al campo magnetico presente nello spettrometro; se diverse sono le masse, diversi saranno anche



i raggi di curvatura delle loro *traiettorie elicoidali* (più grande il raggio della particella più grande). A lato dell'ingresso dello spettrometro vengono messi dei rilevatori che avvertono quando la particella carica li colpisce.
In questo esperimento i due rivelatori sono posti distanti tra loro **1,8 cm.** La distanza tra i due rilevatori serve perché, misurando la differenza tra i due raggi di curvatura, si può risalire alla natura delle particelle.

m1	m2	v	d (che è 2|r1-r2|)	e
1,993E-26	2,159E-26	6,70E+05	1,80E-02	-1,602E-19

Calcola di che intensità debba essere il campo magnetico affinché la differenza tra i due raggi di curvatura sia proprio quella giusta affinché le due particelle, quando abbiano percorso la prima semicirconferenza, colpiscano i due rilevatori distanziati come suddetto.
Risp: partiamo con le considerazioni fatte nell'esercizio precedente, perché anche qui la *forza di Lorentz* agisce sulla particella come *forza centripeta*: $\frac{m \cdot v^2}{r} = q \cdot v \cdot B$, dal che $r = m \cdot v/(q \cdot B)$, quindi $r_1 - r_2 = m_1 \cdot \frac{v}{q \cdot B} - m_2 \cdot \frac{v}{q \cdot B} = \frac{v}{q \cdot B}(m_1 - m_2)$, da cui ricaviamo $B = v(m_1 - m_2)/[q(r_1 - r_2)]$.



Mettiamo $|r_1 - r_2| = 1{,}8\ cm$? NO. Perché no?

Se pensassimo la traiettoria elicoidale percorsa dalle due particelle proiettata sulla parete di ingresso, vedremmo due circonferenze tangenti internamente nel punto di ingresso: la differenza tra i due raggi è doppia della distanza tra i due rivelatori, come si vede nella figura qui a lato.
Pertanto avremo $|r_1 - r_2| = \frac{0{,}018}{2} = 0{,}009$
Siccome $r_1 < r_2$, dovremo scrivere il seguente valore per $r_1 - r_2 = -0{,}009$

La soluzione, pertanto, sarà

se m·v²/r=q·v·B	$r1_1 - r_2 = m_1 \cdot \frac{v}{q \cdot B} - m_2 \cdot \frac{v}{q \cdot B}$.	r1-r2	$B = v(m_1 - m_2)/[q(r_1 - r_2)]$	
r=m·v/(q·B)		-9,00E-03	7,71E-01	

↑2022.02.10 #29 Un filo lungo 80 cm è percorso da una corrente di 1,4 A ed è immerso in un campo magnetico uniforme di $5 \cdot 10^{-2}$ T. Sapendo che il filo forma un angolo di 30° con il campo magnetico, determina la forza che agisce su di esso.
Soluzione come da fig.3. $F = B \cdot i \cdot l \cdot sin\alpha = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}5 = 0{,}028 = 2{,}8 \cdot 10^{-2} newton$

↑2022.02.07 #6 due fili rettilinei paralleli di lunghezza 1,25 cm distanti 3 cm sono percorsi in verso opposto da correnti elettriche della stessa intensità di 0,3 A. Trova intensità e verso della forza con cui interagiscono.
Soluzione come da fig.2. Assumiamo $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \approx 1{,}25664 \cdot 10^{-6} \approx 1{,}26 \cdot 10^{-6}$,
e calcoliamo la formula di fig.2: $F = \frac{0.3 \cdot 0{,}3}{0{,}03} \frac{\mu_0}{2\pi} 1{,}25 = 7{,}52 \cdot 10^{-7}$ newton, forza repulsiva.
Analogo procedimento adotterai nel caso che le due correnti siano di intensità diversa.
Le variabili in gioco sono 5: F, I_1, I_2, d, l: applicando le formule inverse potresti ricavare una qualsiasi delle 5 variabili quando ti siano date le altre 4, come, ad esempio nel seguente esercizio:
#17 Un filo mobile rettilineo lungo *22 cm* rimane sospeso a *1,5 mm* (come se galleggiasse) sopra un altro filo fisso parallelo molto più lungo; rimane sospeso perché entrambi i fili sono attraversati dalla stessa corrente in versi opposti e, quindi, la forza repulsiva dei due campi magnetici realizzati dalle correnti nei due fili bilancerà la forza di gravità del primo filo: si tratta della cosiddetta *levitazione magnetica*; sapendo che la massa del filo galleggiante è di 8 grammi, calcola l'intensità della corrente.
Abbiamo la $F=mg$, abbiamo la distanza e la lunghezza del filo galleggiante, possiamo ricavare la $I_1 \cdot I_2 = I^2 = F \frac{d}{l} \frac{2\pi}{\mu_0} = 0{,}008 \cdot 9{,}81 \frac{0{,}0015}{0{,}22} \frac{2\pi}{\mu_0} = 2666{,}96$, dal che facendo la radice quadrata troviamo $I = 51{,}64$ ampere.