



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Il campo magnetico e forza di Lorentz

Il campo magnetico

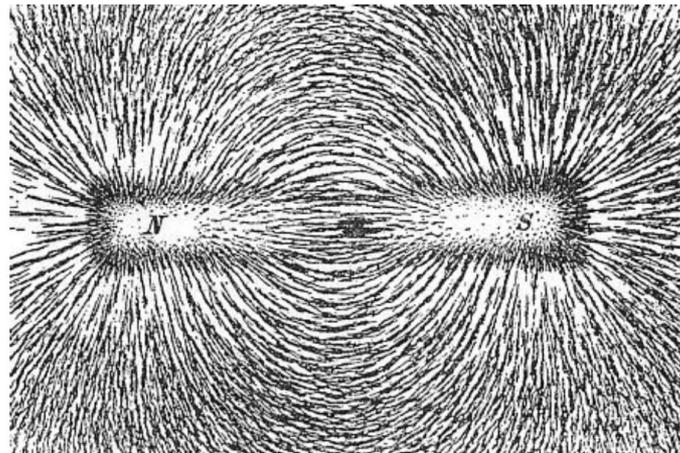
Esistono forze che si manifestano tra particolari materiali (ad es. la magnetite, il ferro) anche privi di carica elettrica.

Queste forze possono essere sia attrattive che repulsive, analogamente a quanto accade per la forza di Coulomb.



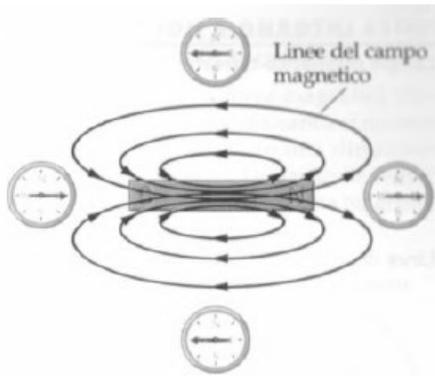
Una calamita si comporta come un dipolo magnetico

Polo verso il
Nord



Polo verso il
Sud

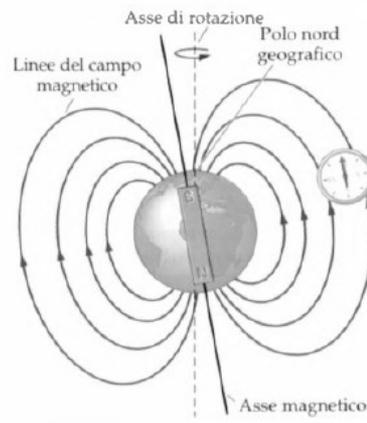
Non è possibile separare i due poli!



Le linee di campo vanno dal polo Nord al Polo Sud seguendo sempre la direzione della bussola.

Le linee di campo sono CHIUSE e non si intersecano mai tra loro.

Il polo Nord magnetico terrestre attualmente è orientato come il polo Nord Geografico, la sua posizione non è fissa nel tempo.





Un campo magnetico può essere creato da **cariche elettriche in moto**, cioè da una corrente, oppure da un **magnete permanente**. Sperimentalmente si trova che esistono **due polarità** nel magnetismo: polo **nord** e polo **sud**: poli uguali si respingono, poli opposti si attraggono. A differenza del campo elettrico, per il campo magnetico **non è** stato ancora isolato il **monopolo magnetico**, anche se ci sono teorie che lo ipotizzano.

L'interazione elettrica e l'interazione magnetica sono due aspetti diversi della stessa interazione, **l'interazione elettromagnetica**. Sperimentalmente si trova che una **carica elettrica in quiete** in un campo magnetico **non subisce interazioni** che ne alterino lo stato di moto, mentre una **carica elettrica in moto** in un campo magnetico **risente di una forza** distinta da quella dovuta all'interazione gravitazionale e a quella elettrica.

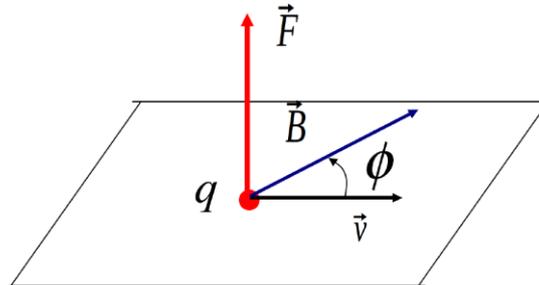
La forza magnetica



La forza dovuta al campo magnetico si determina sperimentalmente osservando l'azione del campo su diverse particelle in condizioni di moto differenti. Si trova che

$$\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad \text{Forza di Lorentz}$$

Forza di Lorentz



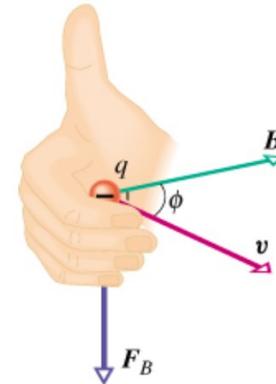
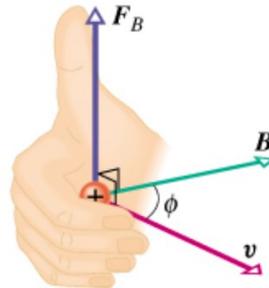
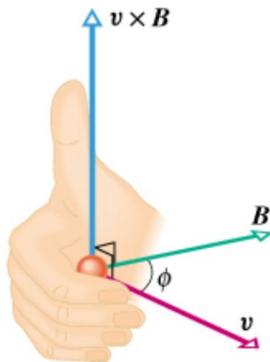
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$F = qvB \sin \phi$$

La relazione così trovata ci dice che il **campo magnetico agisce solo su particelle dotate di carica e già in moto con velocità v .**

Inoltre possiamo notare che:

- $\mathbf{F}_B = 0$ se $\mathbf{v} \parallel \mathbf{B}$
- $\mathbf{F}_B \perp \mathbf{v}$ e $\mathbf{B} \Rightarrow \mathbf{F}_B$ non compie lavoro $\Rightarrow E$ si conserva
- la particella si muove su una traiettoria circolare in un piano $\perp \mathbf{B}$



$$\vec{F} \perp \vec{v} \quad \vec{F} \perp (\vec{v} dt) \quad \vec{F} \perp d\vec{r} \Rightarrow L = \vec{F} \cdot d\vec{r} = 0$$

Se abbiamo contemporaneamente campo elettrico e magnetico, la forza totale agente sulla particella di carica q e in moto con velocità v vale

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Questa forza è detta, a volte, **forza di Lorentz**

Alcuni valori approssimati di campo magnetico

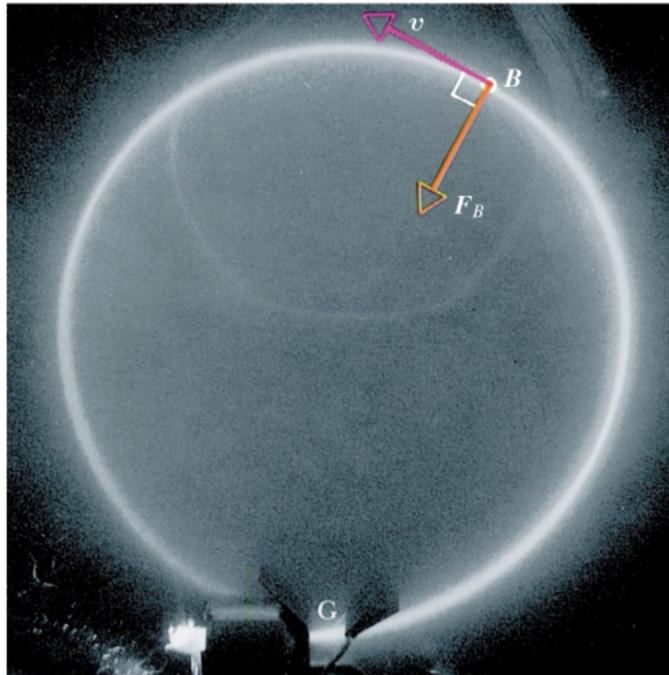
Sulla superficie di una stella di neutroni	10^8 T
In prossimità di un grande elettromagnete	1.5 T
Vicino a una barretta magnetica	10^{-2} T
Sulla superficie della Terra	10^{-4} T
Nello spazio interstellare	10^{-10} T
Il più piccolo valore in una camera magneticamente schermata	10^{-14} T

L'unità di misura dell'intensità del campo magnetico è il **Tesla (T)** o il **Gauss (G)**

$$[B] = \text{N}/(\text{Cms}^{-1}) = \text{kgs}^{-1}\text{C}^{-1} = \text{T} \quad 1\text{T} = 10^4 \text{G}$$

Moto in campo magnetico

Prendiamo una particella in **moto circolare uniforme**, $|\mathbf{v}| = \text{cost.}$, sulla particella deve agire una **forza risultante centripeta**, ovvero sempre \perp a \mathbf{v} e costante in modulo, **forza di Lorentz** ha queste caratteristiche.



Elettroni in moto circolare uniforme
in un campo magnetico \perp al foglio
ed uscente

Analizziamo il moto delle particelle
cariche

$$\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow F = m \frac{v^2}{r} \quad \text{e} \quad F = qvB \Rightarrow qvB = m \frac{v^2}{r}$$

$$\Rightarrow r = \frac{mv}{qB} \quad \text{raggio della circonferenza}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{v} \frac{mv}{qB} = \frac{2\pi m}{qB} \quad \text{periodo}$$

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m} \quad \text{frequenza}$$

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{qB}{m} \quad \left(\vec{\omega} = -\frac{q}{m} \vec{B} \right) \quad \text{pulsazione di ciclotrone}$$

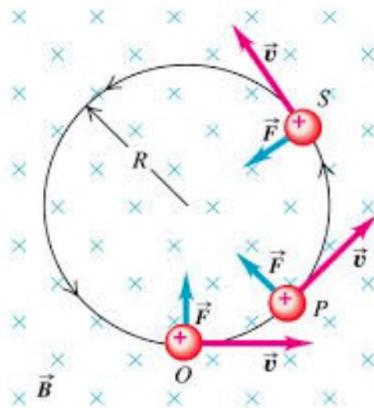
Si nota che, per velocità non relativistiche, **T**, **ν** e **ω** non dipendono da **v**.
All' **umentare** della **velocità**, **umenta** anche il **raggio** della traiettoria.
Notiamo inoltre che tutte le **particelle** con lo **stesso rapporto m/q** hanno il **medesimo T**; se **q > 0** la **rotazione** avviene in verso **antiorario**, se **q < 0** in verso **orario**, osservando nella direzione di B.

Moto in campo magnetico uniforme

$$F = qvB = m \frac{v^2}{r}$$

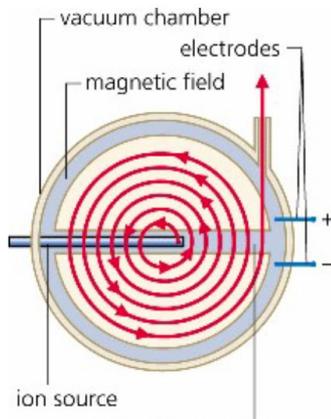
Moto circolare uniforme

$$qvB = q\omega rB = m\omega^2 r$$



(a)

Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.



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

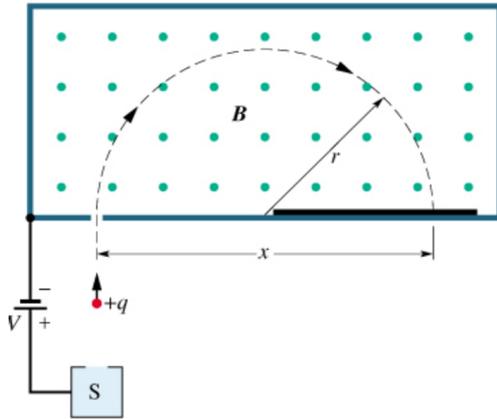
$$\omega = \frac{qB}{m}$$

**Raggio e
frequenza
di
ciclotrone.**

La velocità nell'equazione è la componente perpendicolare alla direzione del campo B

Ciclotrone usato per generare isotopi radioattivi per esempio per la PET

Spettrometro di massa



Prendo delle **particelle** con carica **+q** (**ioni**) prodotte da una sorgente **S** e le accelero attraverso una d.d.p. **ΔV** , poi le faccio entrare in una zona in cui c'è un campo magnetico **$B \perp$ al foglio** ed **uscente**. La **velocità v** con cui gli ioni entrano nella zona in cui c'è **B** si ricava dalla **conservazione dell'energia** (gli ioni escono dalla sorgente con velocità trascurabile)

$$E_K = E_p \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = q\Delta V \Rightarrow v^2 = 2\left(\frac{q}{m}\right)\Delta V$$

$$r = \frac{vm}{qB} \Rightarrow v = \left(\frac{q}{m}\right)Br \Rightarrow \left(\frac{q}{m}\right)^2 = \frac{2\left(\frac{q}{m}\right)\Delta V}{B^2r^2}$$

$$\rightarrow \frac{q}{m} = \frac{2\Delta V}{B^2r^2}$$

Notiamo che il **rapporto tra carica e massa di uno ione** dipende solo da **B** , **ΔV** ed **r** , quindi, dato che **B** e **ΔV** sono noti per costruzione, la **misura di r ci dà il rapporto (q/m)** . Grazie allo spettrometro di massa sono stati scoperti gli **isotopi** (^{12}C , ^{13}C).