



Magnetismo

Roberto Cirio

Corso di Laurea in Chimica e Tecnologia Farmaceutiche

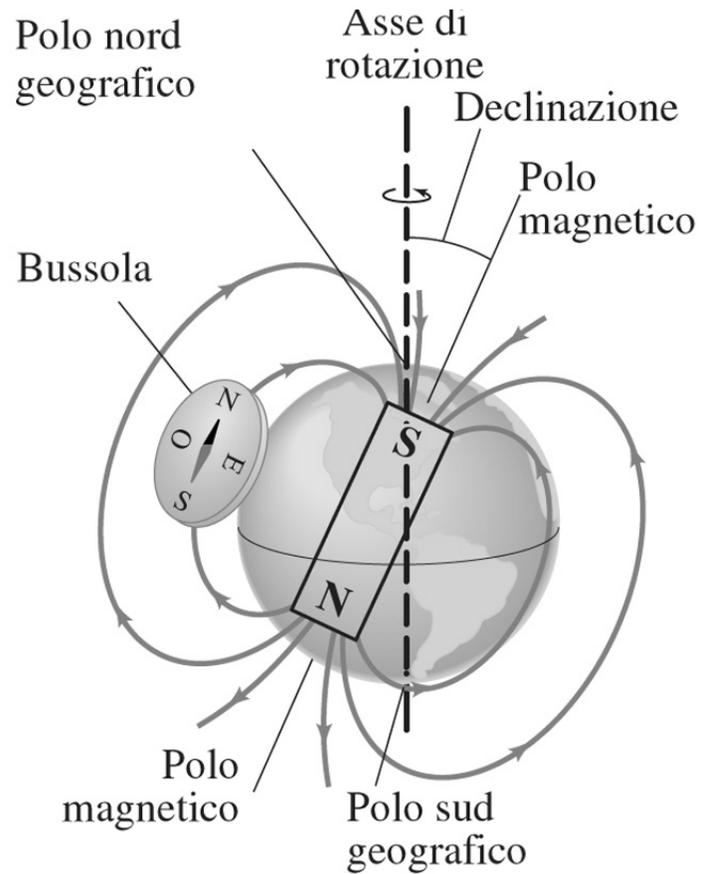
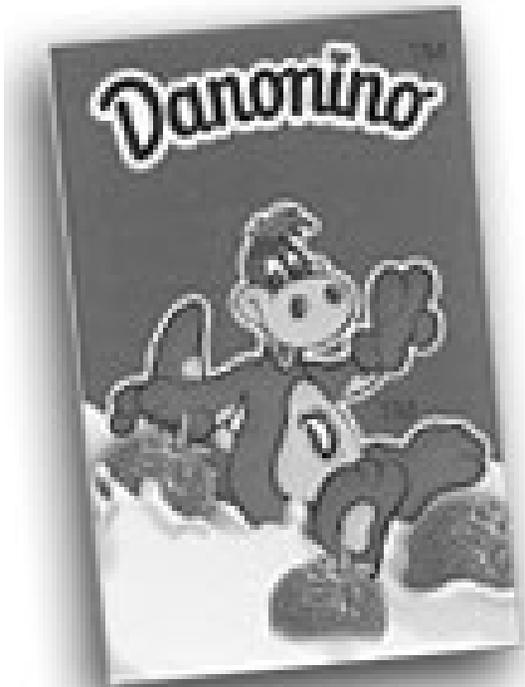
Anno accademico 2007 – 2008

Corso di Fisica

La lezione di oggi

I magneti

Il campo magnetico



Il ciclotrone

- **I magneti**
- **Il campo magnetico**
- **La forza magnetica su una carica elettrica**
- **Moto di particelle cariche nel campo magnetico**
- **Il ciclotrone**

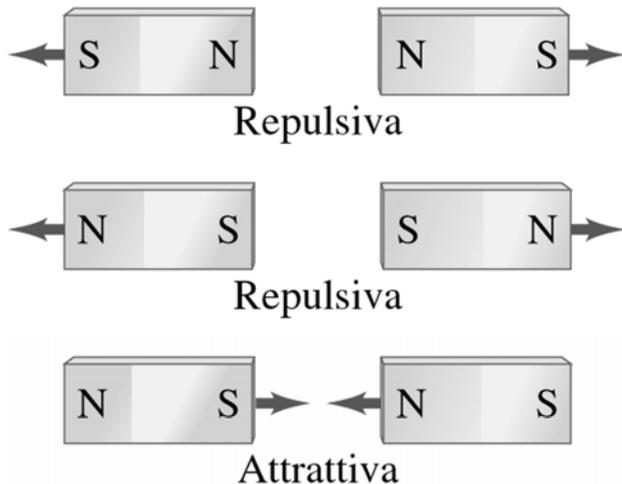
Magneti e campi magnetici

- La nostra esperienza comune conosce bene i magneti permanenti

- Non sono intuitive le interazioni tra elettricità e magnetismo (Oersted, 1820)

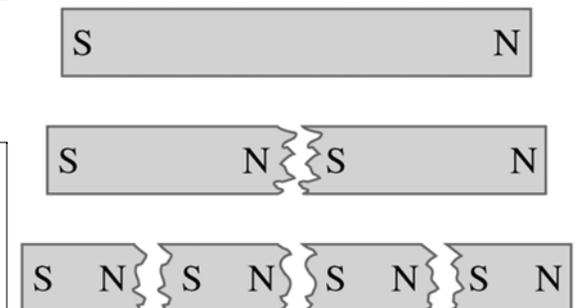


Aurora boreale: i raggi cosmici sono catturati dal campo magnetico terrestre



I magneti sembrano comportarsi come le cariche elettriche

Ma non esistono i monopoli magnetici



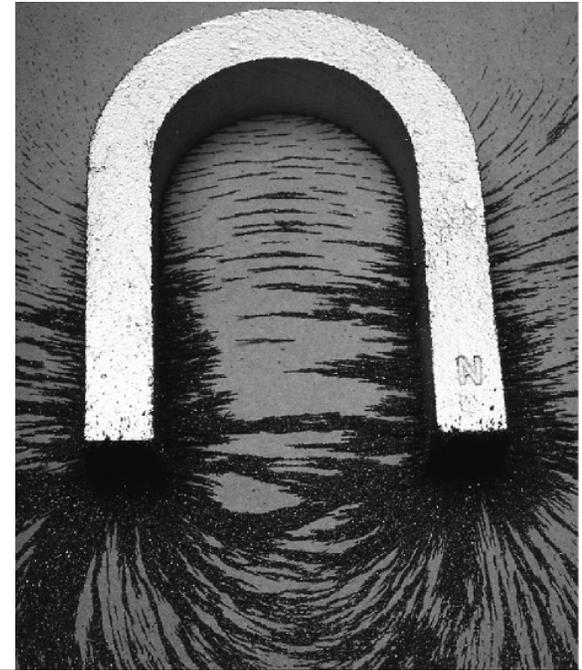
Sostanze ferromagnetiche, paramagnetiche e diamagnetiche

- La materia si comporta in modi diversi quando immersa in un campo magnetico:
 - Sostanze ferromagnetiche: riescono a generare un campo magnetico intenso
 - Sostanze paramagnetiche: generano un campo magnetico solo in opportune condizioni (temperatura bassa o se immerse in un campo magnetico molto grande)
 - Sostanze diamagnetiche: se immerse in un campo magnetico, producono un campo magnetico di verso opposto

- **I magneti**
- **Il campo magnetico**
- **La forza magnetica su una carica elettrica**
- **Moto di particelle cariche nel campo magnetico**
- **Il ciclotrone**

Linee del campo magnetico

- L'analogia tra campo elettrico e campo magnetico e' totale quando si parla di linee di forza
- Posso prendere limatura di ferro e visualizzare le linee di forza
- Posso anche usare una bussola

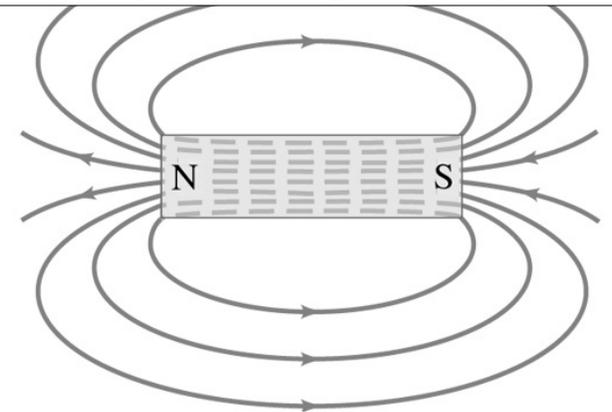


Escono dal Nord, entrano nel Sud

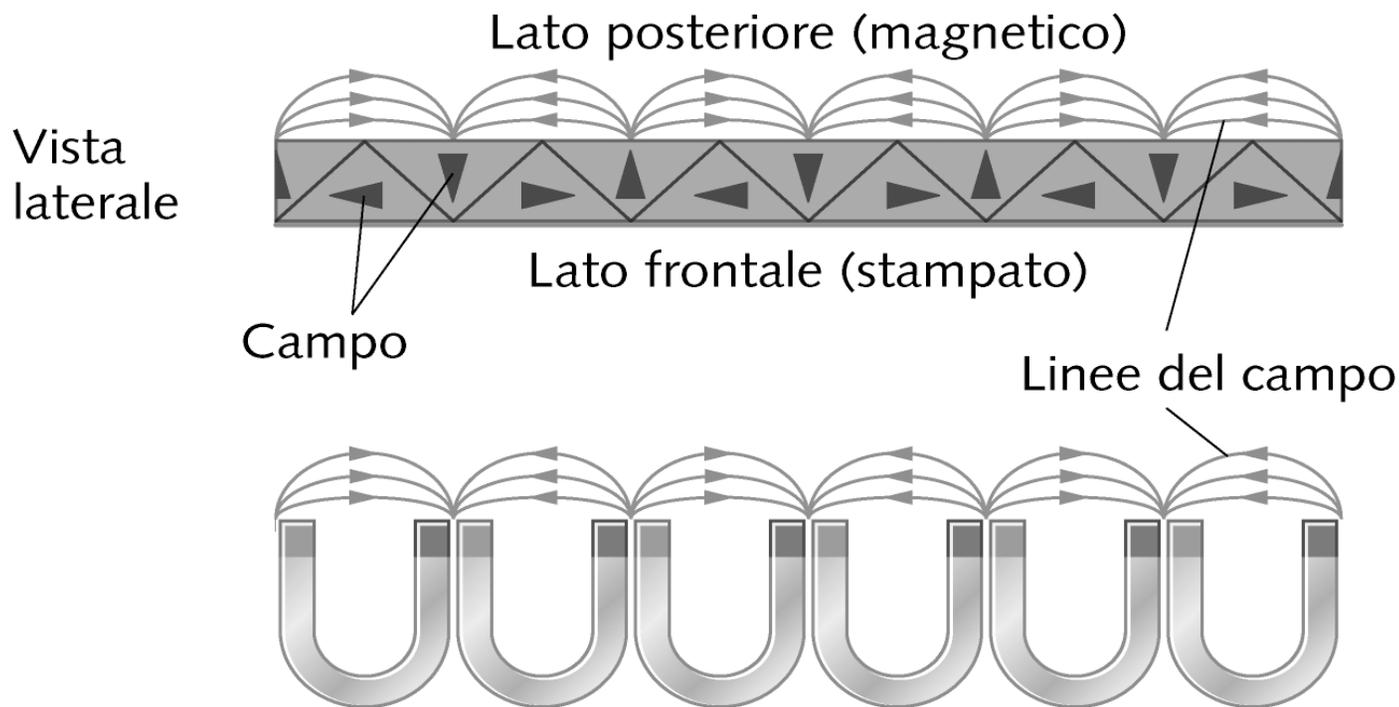


La direzione del campo magnetico e' definita come quella indicata dal polo nord di una bussola

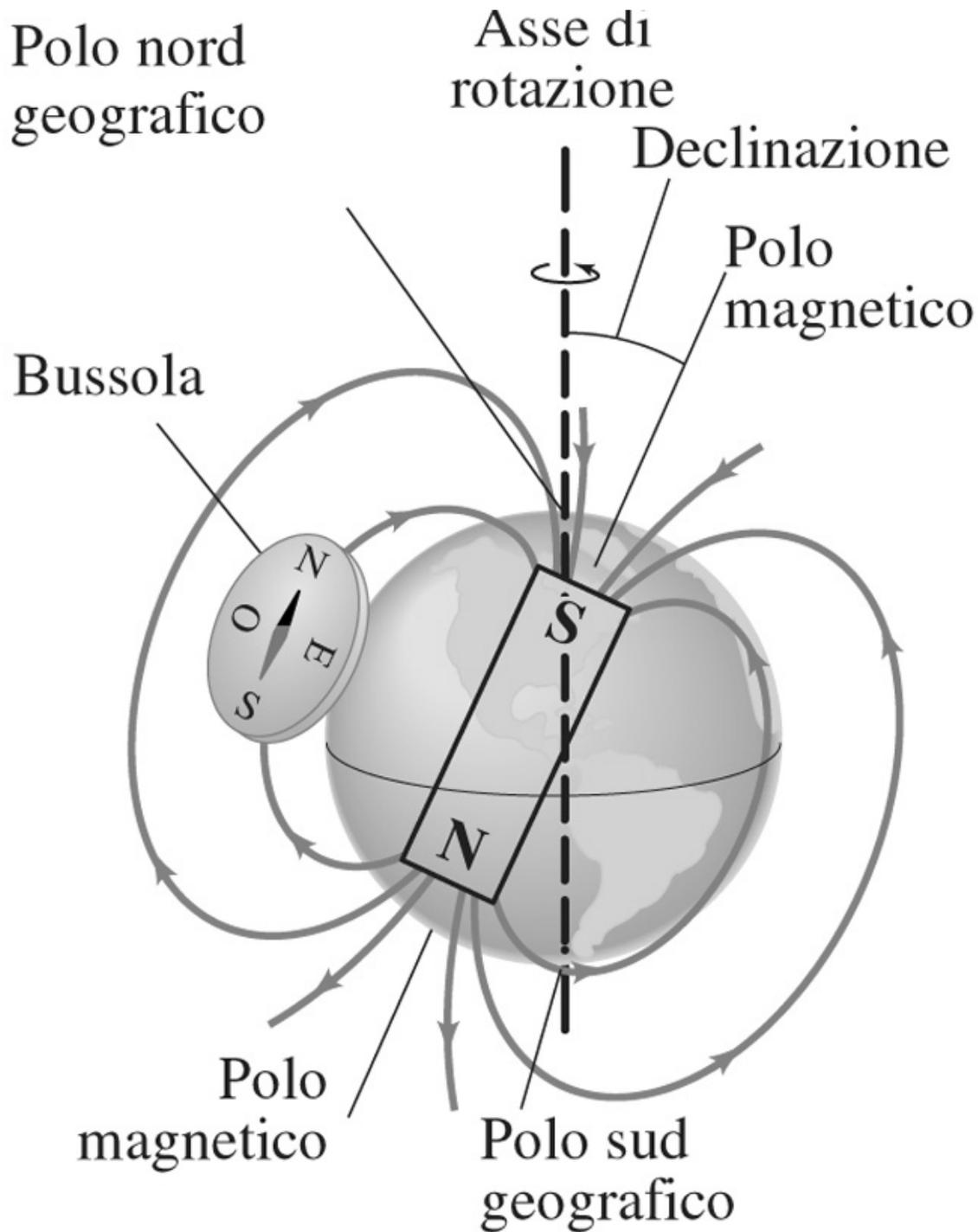
Le linee di forza continuano 'dentro' il magnete (non esiste il monopolo magnetico)



I magneti da frigorifero



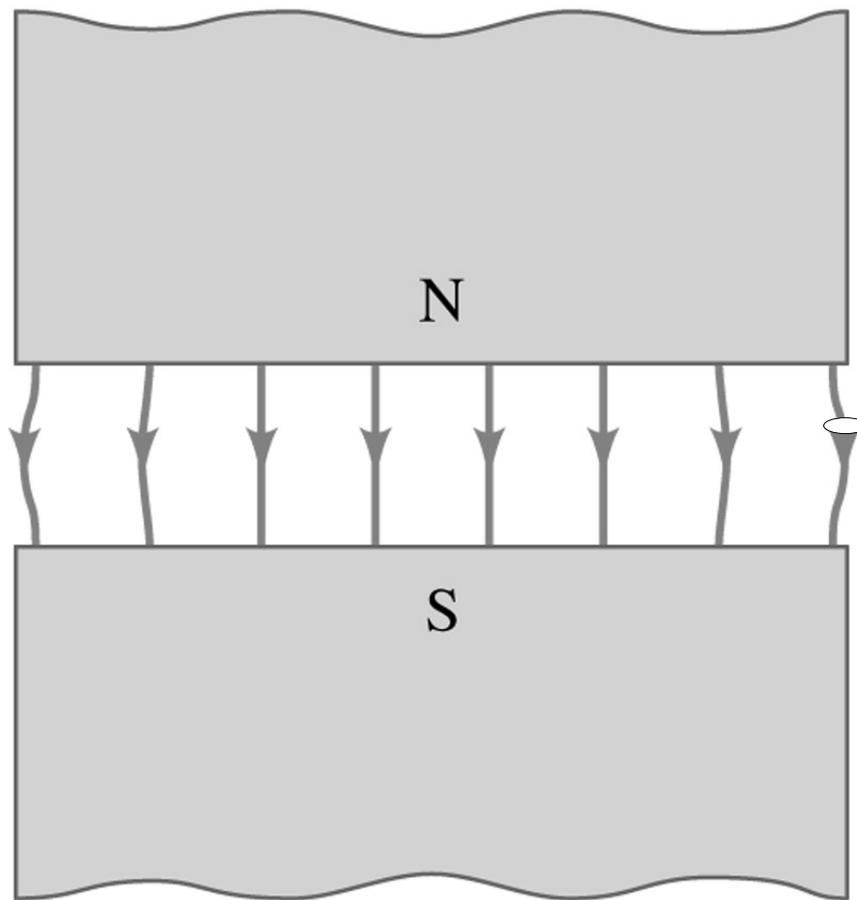
Le linee del campo magnetico sono più intense su un lato che sull'altro



Il campo magnetico terrestre

Il Polo Nord magnetico in realta' e' al Polo Sud geografico

Campo magnetico uniforme

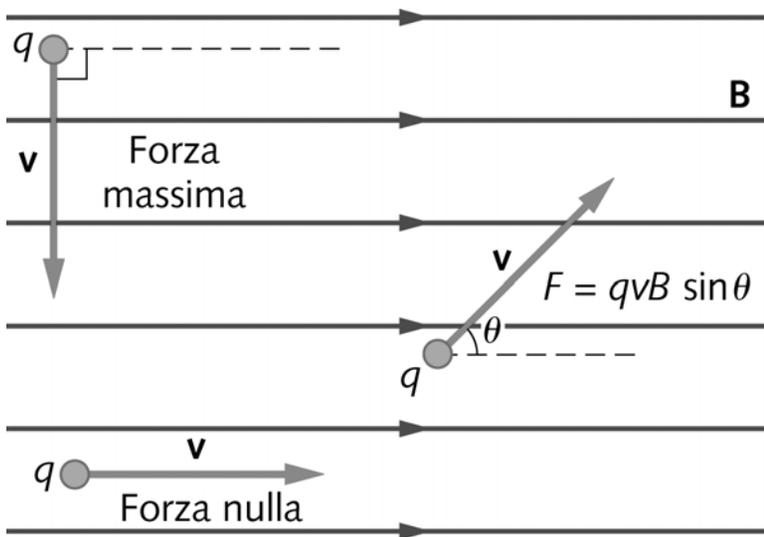


Si ottiene utilizzando espansioni polari piane, con area grande rispetto alla distanza

Fatta eccezione per i bordi

- **I magneti**
- **Il campo magnetico**
- **La forza magnetica su una carica elettrica**
- **Moto di particelle cariche nel campo magnetico**
- **Il ciclotrone**

Forza magnetica su cariche in movimento



- Considero una carica q in un campo magnetico B
- Sperimentalmente vedo che si esercita una forza che dipende da:
 - Carica q della particella
 - Modulo v della velocità della particella
 - Intensità del campo magnetico B
 - Angolo θ tra v e B

- Una particella ferma non è sottoposta a forza
- Una particella neutra non è sottoposta a forza
- Se il moto è parallelo alle linee di forza del campo magnetico, la particella non è sottoposta a forza

$$F = qvB \sin\theta$$

Magnetismo

- B è definito operativamente
- Unità di misura: tesla (T)
- Molto usato: il gauss ($1 \text{ gauss} = 10^{-4} \text{ T}$)
- Dimensioni: $\text{N}/(\text{C} (\text{m/s})) = \text{N}/(\text{A m})$

Alcuni valori di campo magnetico

Sistema fisico	Campo magnetico (gauss, G)	Campo magnetico (tesla, T)
Terra	0.50	$5 \cdot 10^{-5}$
Magnete permanente	100	10^{-2}
Risonanza magnetica clinica (basso campo)	2000	0.2
Risonanza magnetica clinica (alto campo)	30000	3
Risonanza magnetica per ricerca (alto campo)	$2.1 \cdot 10^5$	21
Massimo campo magnetico ottenuto artificialmente	$3.7 \cdot 10^5$	37

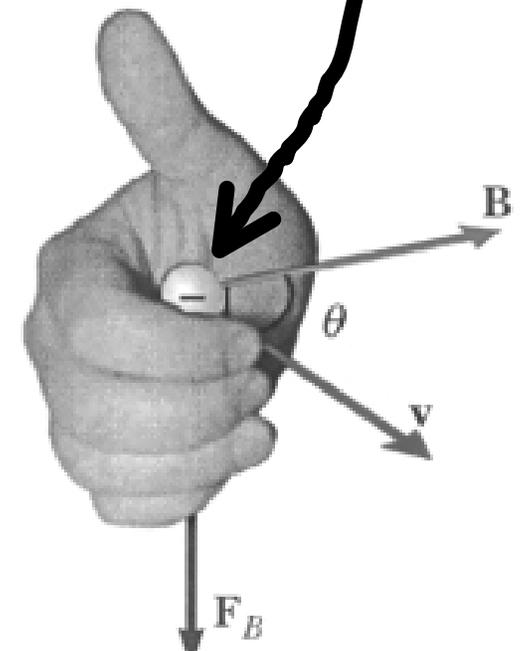
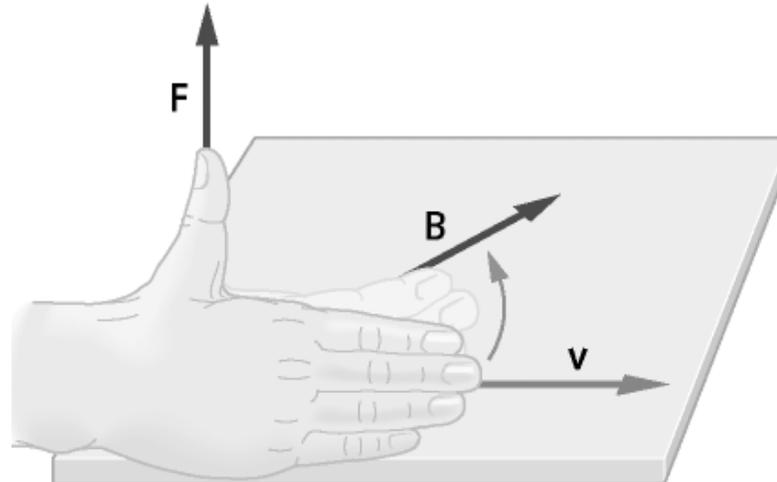
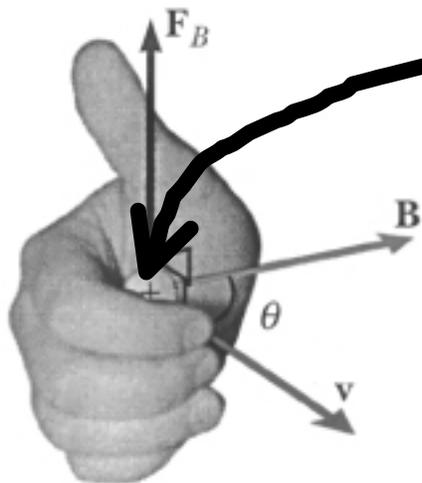
Direzione e verso della forza magnetica

- La forza magnetica ha direzione perpendicolare al piano che contiene v e B
- Il verso e' dato dalla:
 - Regola della mano destra (carica '+')
 - Regola della mano sinistra (carica '-')
- La forza magnetica e' ottenuta con un prodotto vettoriale (o esterno)

Forza di Lorentz

$$\dot{\mathbf{F}} = q\dot{\mathbf{v}} \times \dot{\mathbf{B}}$$

OCCHIO
al segno della carica



Campo elettrico vs. campo magnetico

- $F_{\text{elettrica}}$ e' parallela o antiparallela a E
- $F_{\text{magnetica}}$ e' perpendicolare a B

- $F_{\text{elettrica}}$ agisce su una particella carica, sia ferma che in movimento
- $F_{\text{magnetica}}$ agisce solo su una particella carica in movimento

- $F_{\text{elettrica}}$ compie lavoro
- $F_{\text{magnetica}}$ non compie lavoro (e' perpendicolare, $\cos\theta=0$)
 - Quindi l'energia cinetica di una particella carica non puo' essere modificata da B
 - Quindi il campo magnetico non e' conservativo

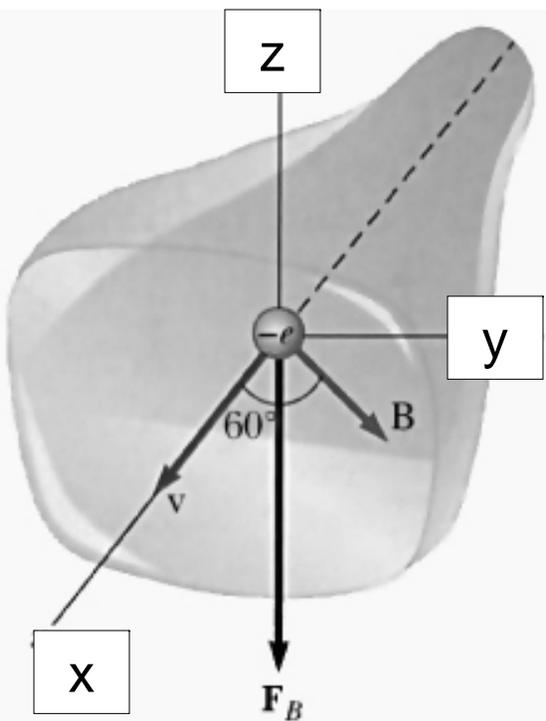
Esercizio

Problema. Un elettrone in un tubo catodico televisivo si muove verso la parte anteriore del tubo con una velocità di $8.0 \cdot 10^6$ m/s lungo la direzione dell'asse x. Il collo del tubo è immerso in un campo magnetico di modulo 250 G, diretto a un angolo di 60° con l'asse x e giacente nel piano xy. Calcolare:

1. La forza magnetica sull'elettrone

Forza di Lorentz

$$\dot{\mathbf{F}} = q\dot{\mathbf{v}} \times \dot{\mathbf{B}}$$



$$F = evB \sin \theta =$$

$$(1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C})(8.0 \cdot 10^6 \text{ ms}^{-1})(250 \cdot 10^{-4} \text{ T})(\sin 60^\circ) =$$

$$2.8 \cdot 10^{-14} \text{ N}$$

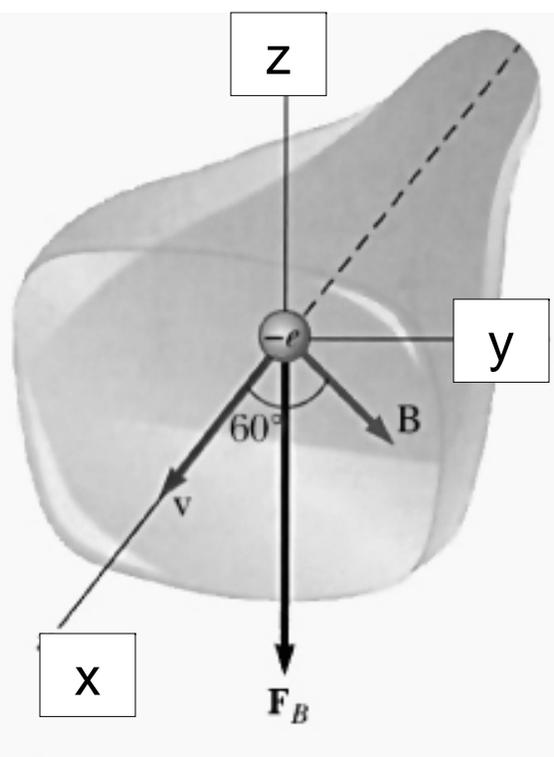
● Direzione: asse z

● Verso: verso il basso (e' un elettrone)

Esercizio

Problema. Un elettrone in un tubo catodico televisivo si muove verso la parte anteriore del tubo con una velocità di $8.0 \cdot 10^6$ m/s lungo la direzione dell'asse x. Il collo del tubo è immerso in un campo magnetico di modulo 250 G, diretto a un angolo di 60° con l'asse x e giacente nel piano xy. Calcolare:

2. L'accelerazione dell'elettrone



2 legge di Newton

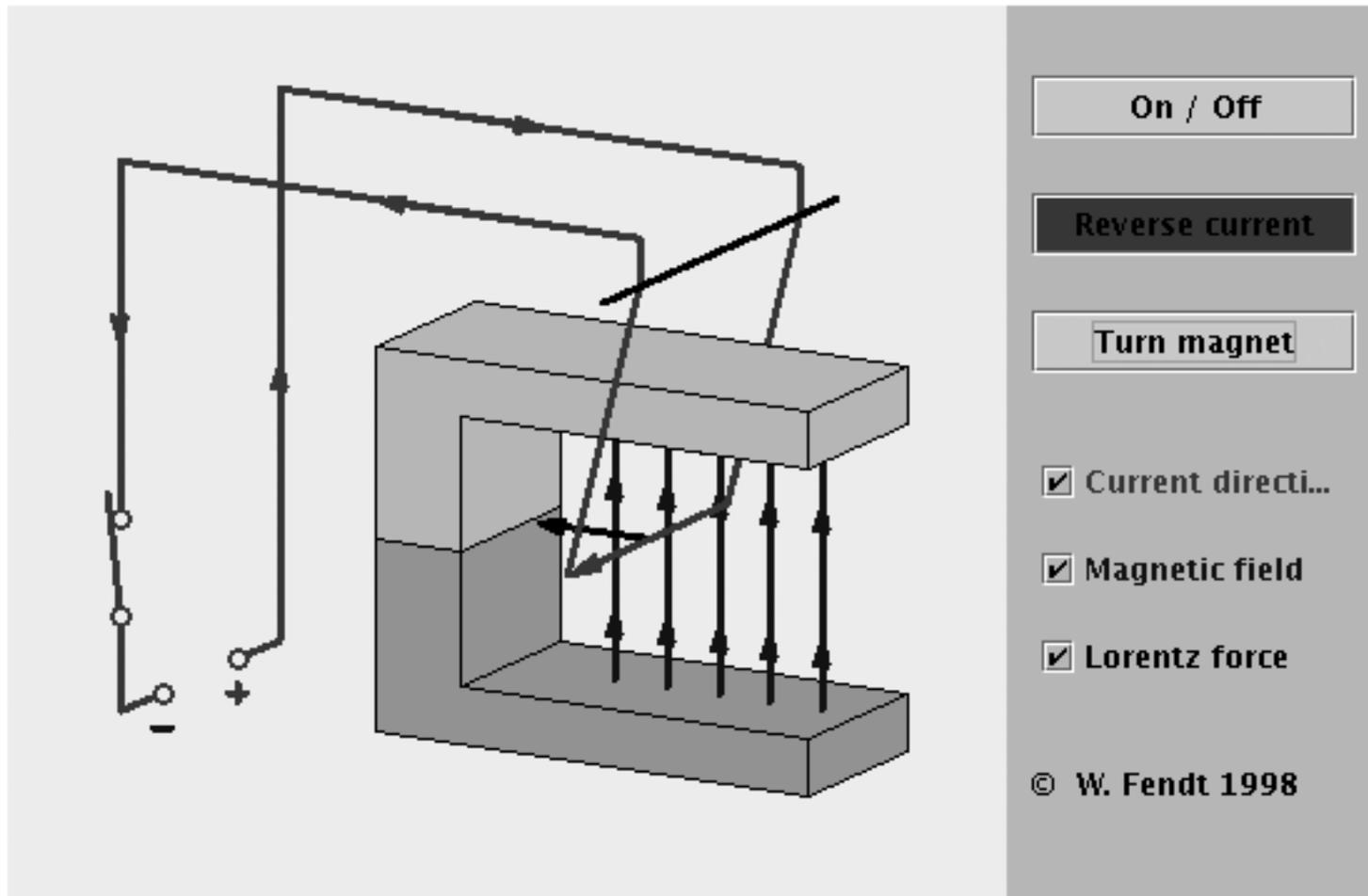
$$F = ma$$

$$F = 2.8 \cdot 10^{-14} \text{ N}$$

$$a = \frac{F}{m_e} = \frac{2.8 \cdot 10^{-14} \text{ N}}{9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} = 3.1 \cdot 10^{16} \text{ ms}^{-2}$$

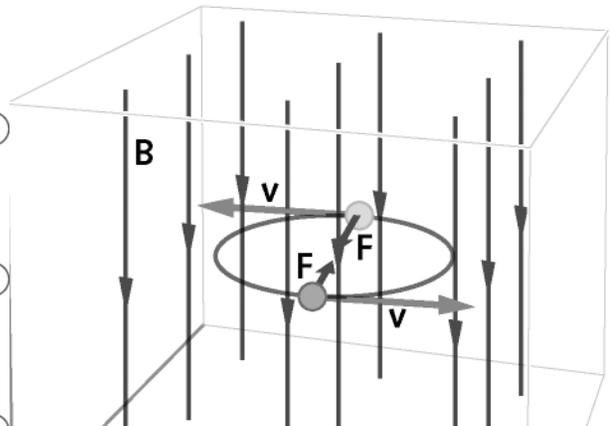
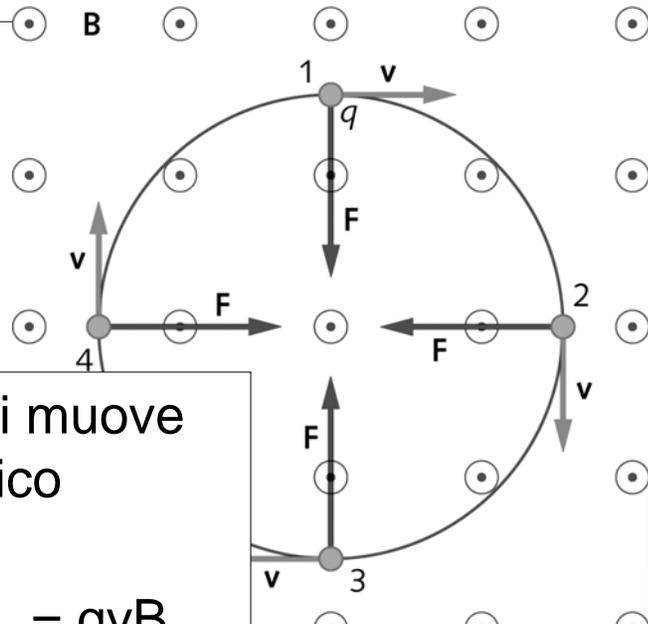
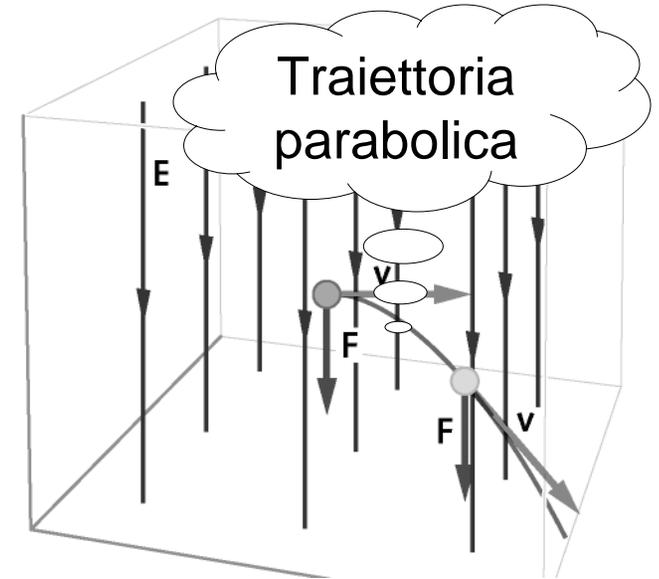
- **I magneti**
- **Il campo magnetico**
- **La forza magnetica su una carica elettrica**
- **Moto di particelle cariche nel campo magnetico**
- **Il ciclotrone**

La forza di Lorentz



Confronto: $F_{\text{elettrica}}$ vs. $F_{\text{magnetica}}$

- Particella carica '+' si muove in un campo elettrico
- $F_{\text{elettrica}} = qE$
- E e' costante, $F_{\text{elettrica}}$ e' costante, a e' costante
- Moto del proiettile



- Particella carica '+' si muove in un campo magnetico uscente dal foglio
- Modulo della $F_{\text{magnetica}} = qvB$
- $F_{\text{magnetica}}$ e' sempre perpendicolare a v
- Moto circolare

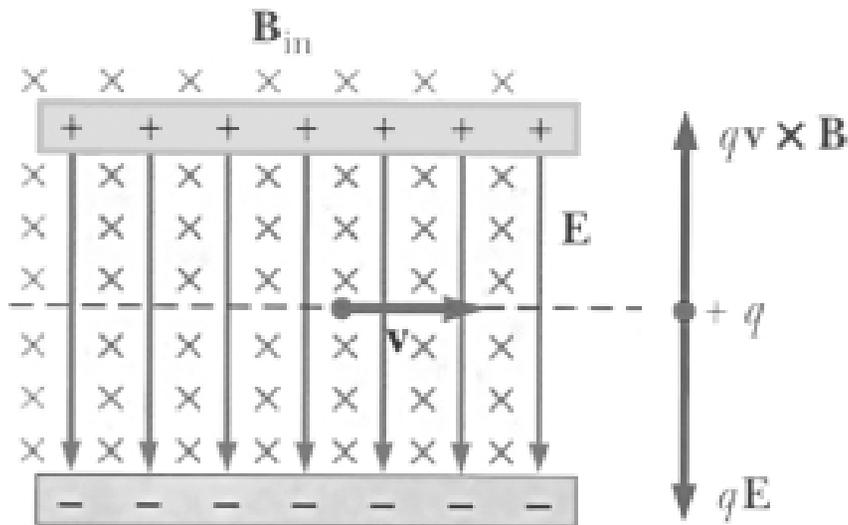
$$F_{\text{Lorentz}} = F_{\text{centripeta}}$$

$$qvB = mv^2/R$$

$$R = mv/qB$$

Il selettore di velocità

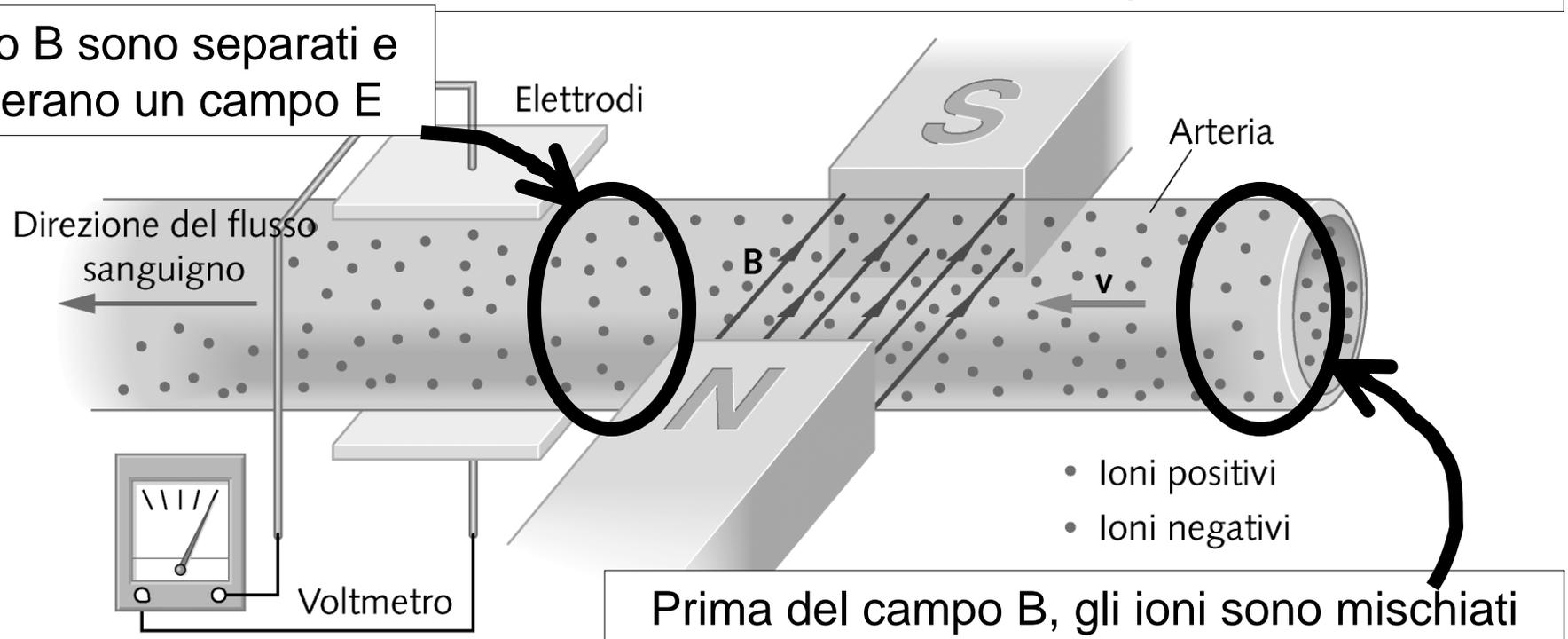
- Selettore = discriminatore
- Particella carica '+'
- E verso il basso
- B entrante
- $F_{\text{elettrica}} = F_{\text{magnetica}}$ vuol dire che la risultante delle forze e' 0
- Si ottiene se vale la condizione:
 - $qE = qvB$
 - Le particelle che vanno dritte, hanno $v = E/B$



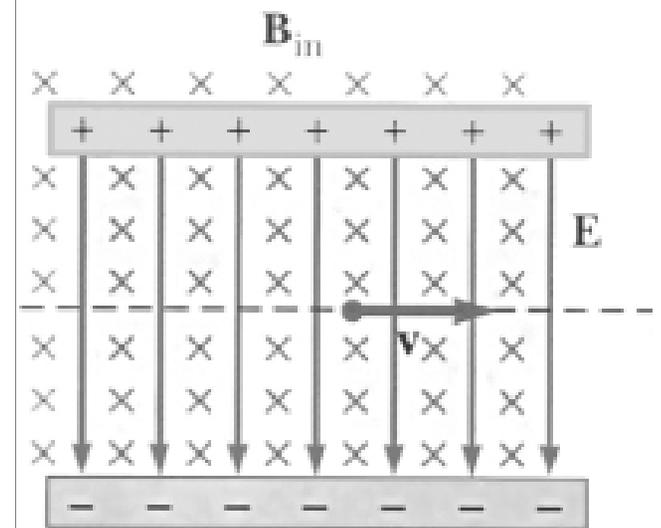
- Le particelle con $v = E/B$ vanno dritte
- Le particelle con $v < E/B$ vanno in basso ($E > vB$)
- Le particelle con $v > E/B$ vanno in alto ($vB > E$)
- NOTA. Con carica '-', succede l'opposto

Il flussometro elettromagnetico

Dopo B sono separati e generano un campo E



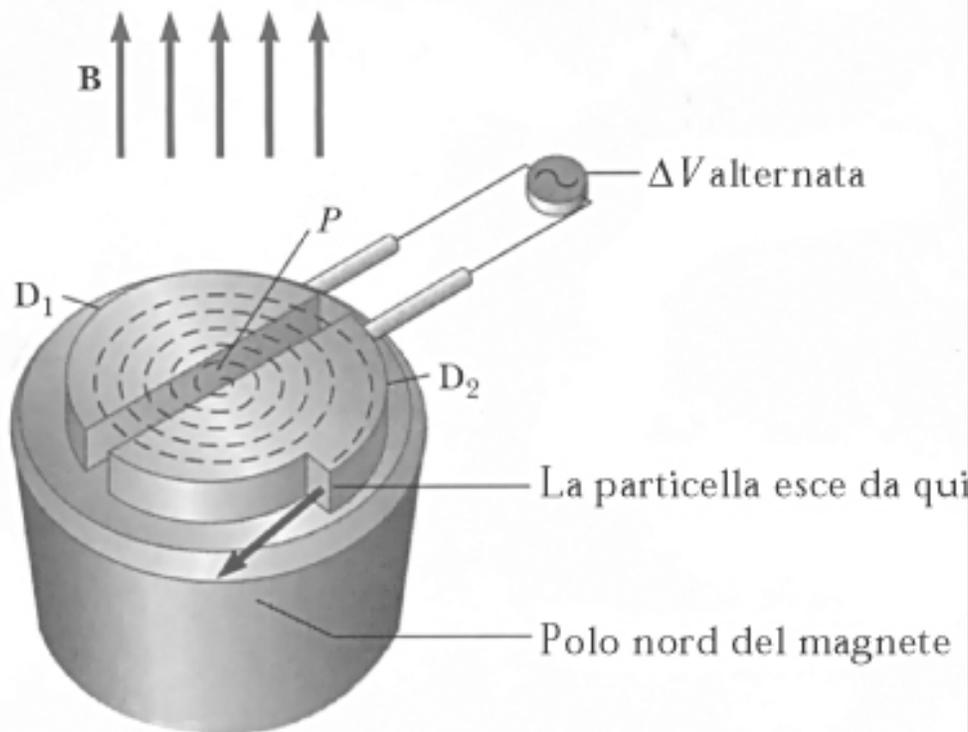
- Il sangue scorre nell'arteria
- Applico un campo B
- Gli ioni nel sangue si separano e generano un campo E
- Il sangue scorre normalmente quando gli ioni vanno dritti
- Se misuro E, ricavo v dalla $v = E/B$



- **I magneti**
- **Il campo magnetico**
- **La forza magnetica su una carica elettrica**
- **Moto di particelle cariche nel campo magnetico**
- **Il ciclotrone**

Il ciclotrone

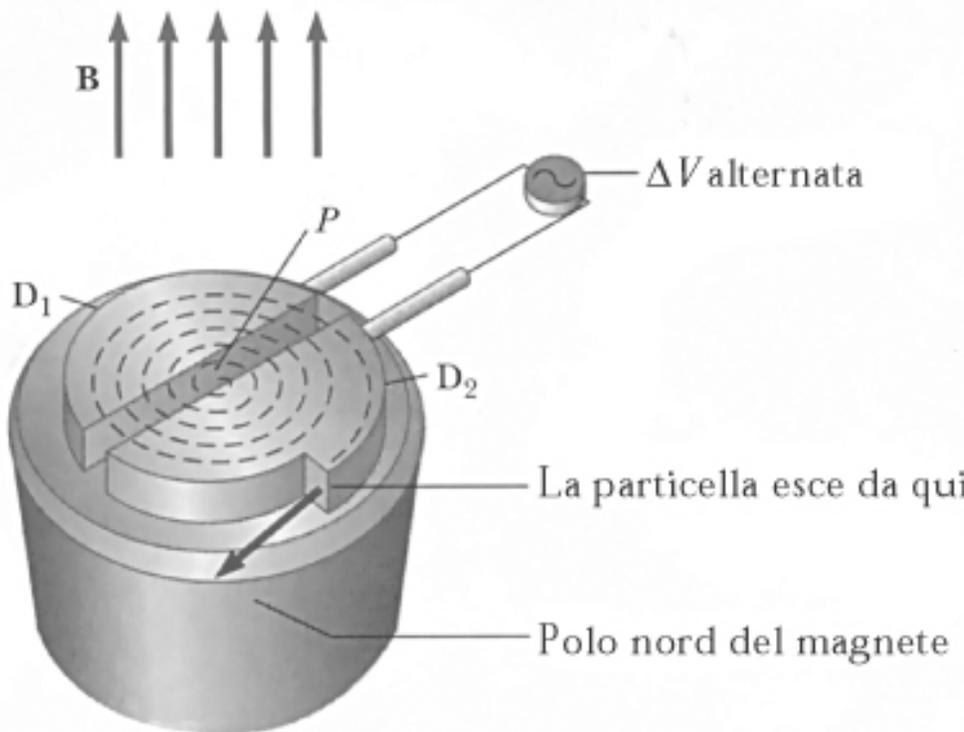
- Il ciclotrone e' un acceleratore di particelle
- ... come anche il tubo catodico del televisore ...
- Accelera particelle per produrre sostanze radioattive
- Molto usato in diagnostica (PET)
- Puo' essere utilizzato anche in radioterapia



- Inietto uno ione positivo in P
- Il campo B e' ottenuto con due magneti (in figura e' mostrato solo il magnete inferiore; quello superiore e' identico ma di segno opposto)
- Una ΔV ad alta frequenza e' applicata sulle 'D' (o 'Dee', dalla forma simile alla lettera D)
- La ΔV accelera lo ione
- B lo fa stare su una traiettoria circolare

Il ciclotrone

- Al primo passaggio attraverso la ΔV , lo ione aumenta l'energia di una quantità $q \Delta V$, ovvero aumenta la sua velocità
- Quindi si sposta su una traiettoria un po' più esterna, cioè con raggio maggiore (la sua velocità è aumentata)
- Quando il raggio della traiettoria è uguale al raggio della D, lo ione esce attraverso una fenditura

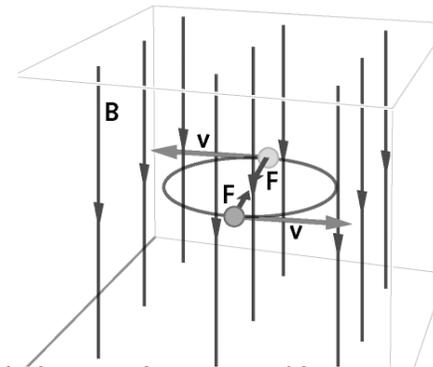
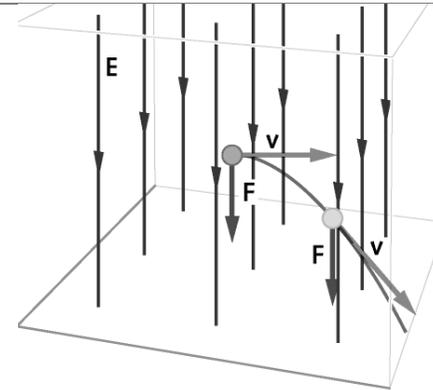
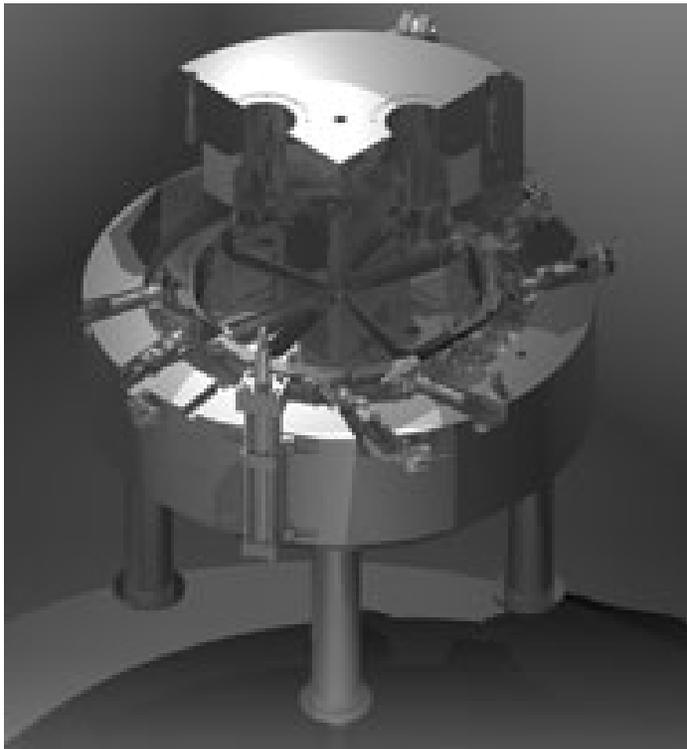


- Nota: il tempo che ci mette a fare una semicirconfenza è costante
- Quindi la frequenza della ΔV è costante
- Se il raggio della D è R, allora lo ione esce quando $v = qBR/m$
- L'energia cinetica sarà

$$K = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$$

Riassumendo

Il campo magnetico ha molte analogie con il campo elettrico, ma ha anche differenze sostanziali



Una combinazione di campo magnetico ed elettrico e' alla base del principio di funzionamento del ciclotrone

Esercizio da svolgere a casa

n. 60 pag. E156 Walker

Una particella carica si muove su un piano orizzontale con una velocità di $8.70 \cdot 10^6$ m/s.

Quando questa particella incontra un campo magnetico uniforme nella direzione verticale, comincia a muoversi su traiettorie circolari di raggio 15.9 cm.

1. Se l'intensità del campo magnetico è di 1.21 T, qual'è il rapporto carica/massa (q/m) di questa particella ?
2. Se il raggio della traiettoria è più grande di 15.9 cm, il rapporto carica/massa è maggiore, minore o uguale a quello trovato in (1) ? (Assumi che il campo magnetico rimanga lo stesso)

Soluzione

n. 60 pag. E156 Walker

Una particella carica si muove su un piano orizzontale con una velocità di $8.70 \cdot 10^6$ m/s.

Quando questa particella incontra un campo magnetico uniforme nella direzione verticale, comincia a muoversi su traiettorie circolari di raggio 15.9 cm.

1. Se l'intensità del campo magnetico è di 1.21 T, qual'è il rapporto carica/massa (q/m) di questa particella ?

$$F_{\text{Lorentz}} = F_{\text{centripeta}}$$

$$qvB = mv^2/R$$

$$qBR = mv$$

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{BR} = \frac{8.70 \cdot 10^6 \text{ m/s}}{(1.21 \text{ T})(0.159 \text{ m})} = 4.52 \cdot 10^7 \text{ C/kg}$$

Soluzione

n. 60 pag. E156 Walker

Una particella carica si muove su un piano orizzontale con una velocità di $8.70 \cdot 10^6$ m/s.

Quando questa particella incontra un campo magnetico uniforme nella direzione verticale, comincia a muoversi su traiettorie circolari di raggio 15.9 cm.

2. Se il raggio della traiettoria è più grande di 15.9 cm, il rapporto carica/massa è maggiore, minore o uguale a quello trovato in (1) ? (Assumi che il campo magnetico rimanga lo stesso)

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$$

Se R è aumentato,
 q/m è minore