

## TEMA 4 EL CAMP MAGNÈTIC

### 1. Característiques. Comportament de la matèria davant el magnetisme.

La majoria dels materials responen a l'aplicació d'un camp magnètic  $\vec{B}$  extern produïnt la seva pròpia magnetització, i per tant, el seu propi camp magnètic al seu interior. Segons el seu comportament magnètic els materials es poden classificar en:

- **Ferromagnètics:** produeixen una magnetització, (que pot romandre al desactivar el camp extern), en el mateix sentit que el camp extern, de forma que fan augmentar el valor total del camp en el seu interior. Per exemple, el  $\mu$ -metall pot multiplicar per un factor  $10^5$  el camp aplicat. Això es degut a la seva alta *permeabilitat magnètica* i el fa molt útil com a *escut magnètic* ja que condueix el camp extern pel seu interior, aconseguint així un efecte d'apantallament, que no és possible d'una altra manera pel fet que no existeixen monopols magnètics.
- **Paramagnètics:** produeixen una magnetització lleu en el mateix sentit que el camp aplicat.
- **Diamagnètics:** produeixen una magnetització que s'oposa al camp aplicat extern.

### 2. Efecte del camp magnètic sobre una càrrega en moviment. Llei de Lorentz.

Una partícula amb càrrega  $q$  que es mou amb velocitat  $\vec{v}$  en el si d'un camp magnètic  $\vec{B}$  sentirà una força donada per

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

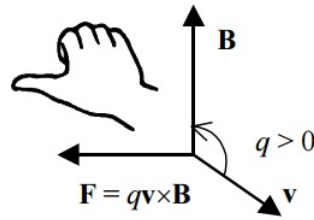
amb mòdul

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

$$F = |q|vB \sin \alpha$$

on  $|q|$  és el valor absolut de la càrrega elèctrica, i  $\alpha$  l'angle que formen la velocitat i el camp magnètic.

La direcció de la força és perpendicular al pla que formen  $\vec{v}$  i  $\vec{B}$  i el sentit ve donat per l'anomenada regla de la mà dreta, tal com es veu a continuació



De l'expressió de la llei de Lorentz es pot definir la unitat de camp magnètic, Tesla, en el Sistema Internacional o *MKS*

$$[B] = \frac{[F]}{[q] \cdot [v]} = \frac{N}{C \cdot m/s} = \frac{N}{A \cdot m} \equiv T$$

la corresponent unitat en el CGS el Gauss,  $G$

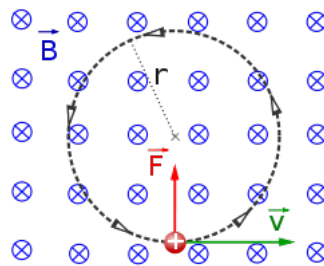
$$1 T = 10^4 G$$

Una conseqüència molt important de la Llei de Lorentz és que, al ser la força magnètica sempre perpendicular a la velocitat de la càrrega, el camp magnètic *no fa treball*.

Si a més d'un camp magnètic hi ha un elèctric l'efecte dels dos s'expressa

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

3. **Moviment de càrregues en el si d'un camp magnètic.** Suposem que una partícula de massa  $m$ , càrrega  $q$  positiva i velocitat  $v$  penetra en el si d'un camp magnètic  $B$ , amb  $\vec{v} \perp \vec{B}$



on el camp magnètic és perpendicular al pla i *entra* en el paper. Llavors la força (recordem que serà perpendicular a la velocitat) fa descriure a la partícula un cercle de radi  $r$ . De la segona llei de Newton

$$F = ma_c$$

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

d'on

$$qBr = mv$$

al ser un moviment circular podem introduir el període  $T$

$$2\pi r = v \cdot T$$

llavors

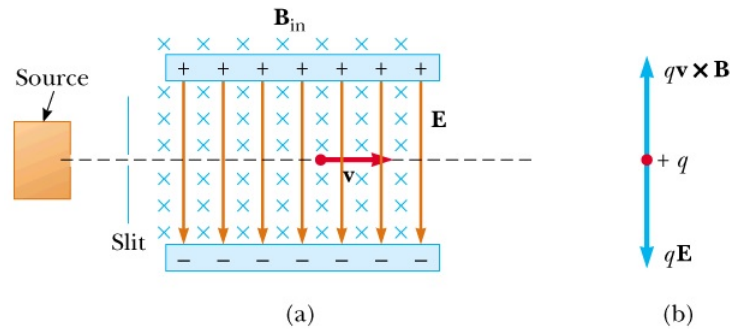
$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

En general l'angle que formen la velocitat i el camp magnètic no serà de  $90^\circ$ . El tractament consistirà en descomposar la velocitat en dues components ortogonals,

$$\vec{v} = \vec{v}_{\parallel} + \vec{v}_{\perp}$$

una paral·lela al camp (que no es veurà afectada ja que  $\sin 0^\circ = 0$ ) i una altra perpendicular, que patirà l'efecte ja discutit. La conseqüència final serà que la partícula descriurà un moviment helicoidal. Aquest efecte (jugant amb la geometria del camp per crear punts de retrocés en el moviment) es fa servir, per exemple, per confinar *plasmes* (gasos ionitzats a altes temperatures) en el que s'anomenen *ampolles magnètiques*.

4. **El selector de velocitats** Aquest dispositiu utilitza un camp magnètic i un elèctric *creuats* per tal de seleccionar les partícules d'un feix que tenen un determinat valor de la velocitat.



només aquelles partícules per les quals la força magnètica sigui igual a la força elèctrica segueixen el seu camí sense desviar-se.

$$F_m = F_e$$

$$qvB = qE$$

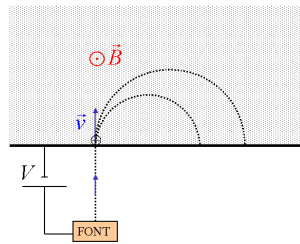
$$v = \frac{E}{B}$$

De manera que canviant els valors de  $E$  i  $B$  podem controlar la velocitat de les partícules que surten del selector. Cal notar que el comportament del selector de velocitats no depèn del signe de les càrregues ni de la seva massa.

5. **L'espectròmetre de masses** Tal com hem vist abans al punt 3, quan una càrrega entra en el si d'un camp magnètic de forma que la seva velocitat i el camp són perpendiculars aquella descriu un moviment circular de radi  $r$ , amb

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

de forma que si fixem  $B$ ,  $v$  (amb un selector de velocitats previ), i suposem que totes les càrregues tenen el mateix valor (absolut), llavors aquelles que tinguin una massa més gran descriuran un radi més gran. Això permet classificar-les i identificar-les.



6. **L'efecte d'un camp magnètic en un fil de corrent.** Un fil de corrent en el si d'un camp magnètic pateix una força donada per

$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$$

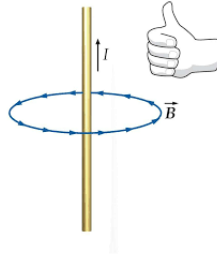
7. **Camp creat per un fil rectilini infinit.** El camp que crea un fil de corrent infinit a una distància  $r$  té el sentit de circulació que s'indica a la figura i val

$$|\vec{B}| = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

on  $\mu$  és la permeabilitat magnètica del medi, amb

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$  permeabilitat magnètica del buit i  $\mu_r$  permeabilitat relativa del medi (en el buit  $\mu_r = 1$ ).



8. **Força entre fils de corrent** En l'apartat anterior hem vist que un fil pel qual circula una intensitat crea un camp magnètic al seu voltant, i a l'apartat 6 vam veure que un camp magnètic exerceix una força sobre un fil pel qual passa una certa intensitat. Llavors si tenim dos fils separats una distància  $d$  pels quals passen intensitats  $I_1$ ,  $I_2$  sentiran una força per unitat de longitud donada per

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

Es deixa com a exercici deduir si la força és atractiva o repulsiva en funció de si les intensitats són paral·leles o antiparal·leles.