

---

# Tema 5: EL CAMP MAGNETOSTÀTIC

- 
- 5.1. Introducció
  - 5.2. Llei d'Ampère
  - 5.3. Camp magnètic. Divergència i rotor del camp magnetostàtic
  - 5.4. Teorema d'Ampère
  - 5.5. Potencial vector
  - 5.6. La llei de la força de Lorentz. Moviment de càrregues en camps elèctrics i magnètics

# Tema 5: EL CAMP MAGNETOSTÀTIC

## 5.6. Força de Lorentz

### Introducció

- Suposem una càrrega  $q$  amb velocitat  $v$  en presència d'un camp elèctric  $E$  i d'un magnètic  $B$ .
- La força que fan els camps sobre la càrrega és:

$$\vec{F}_L = q \vec{E} + q (\vec{v} \times \vec{B}) \quad \textit{Força de Lorentz}$$

- 1r sumand: força deguda al camp electrostàtic;
  - 2n sumand: força deguda al camp magnetostàtic, només present si la velocitat és diferent de zero.
- És una llei experimental (postulat de la teoria electromagnètica).

# Tema 5: EL CAMP MAGNETOSTÀTIC

## 5.6. Força de Lorentz

### Coherència amb la llei d'Ampère

- Partim de l'expressió de la força que fa un camp  $B$  sobre una distribució de corrent en volum  $J$ .

$$\vec{F} = \int_{\mathcal{V}} \vec{J}(\vec{r}) \times \vec{B}(\vec{r}) dV \quad \text{com} \quad \vec{J}(\vec{r}) = \rho \vec{v}$$

- Aleshores: 
$$\vec{F} = \int_{\mathcal{V}} \rho \vec{v} \times \vec{B}(\vec{r}) dV$$

- Per a una càrrega puntual  $q$ :

$$q = \int_{\mathcal{V}} \rho dV \quad \rightarrow \quad \vec{F} = q (\vec{v} \times \vec{B})$$

- Connexió entre el caràcter discret de la càrrega en la matèria i el caràcter continu del camp electromagnètic

# Tema 5: EL CAMP MAGNETOSTÀTIC

## 5.6. Força de Lorentz

### Característiques de la força de Lorentz

- Només s'aplica sobre càrregues independents, NO sobre corrents estacionaris (en un volum no hi ha càrrega neta)
- Sempre és vàlida (les lleis de Coulomb i Ampère són vàlides només en electrostàtica i magnetostàtica).
- Fonamental en electrodinàmica: permet calcular trajectòries.

- La part magnètica no realitza treball:

$$W_{F_{mag}} = \int_A^B \vec{F}_{mag} \cdot d\vec{r} = \int_A^B q (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{r} = q \int_A^B (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{v} dt = 0$$

- $F_{mag}$  canvia la direcció d'una càrrega però no l'accelera

# Tema 5: EL CAMP MAGNETOSTÀTIC

## 5.6. Força de Lorentz

Moviment d'una càrrega en presència de  $B$  i  $E$  uniformes

- $E = 0, B \neq 0: \quad \vec{F}_L = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) = \vec{F}_e + \vec{F}_m$

>  $F_e = 0$

>  $F_m$ : en direcció perpendicular al pla  $E$ - $B$  i sempre perpendicular a velocitat: força central

> **trajectòria circular**

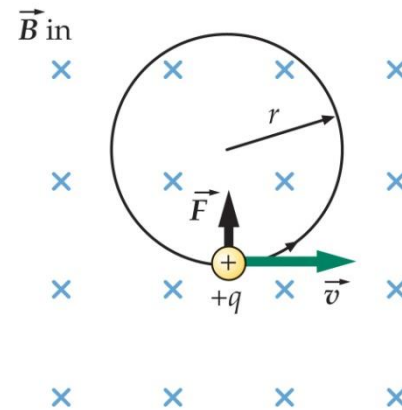
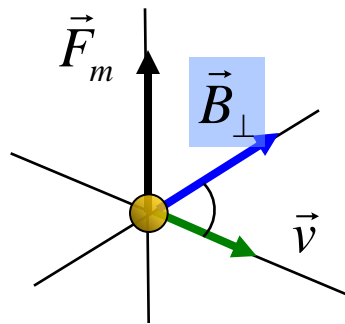


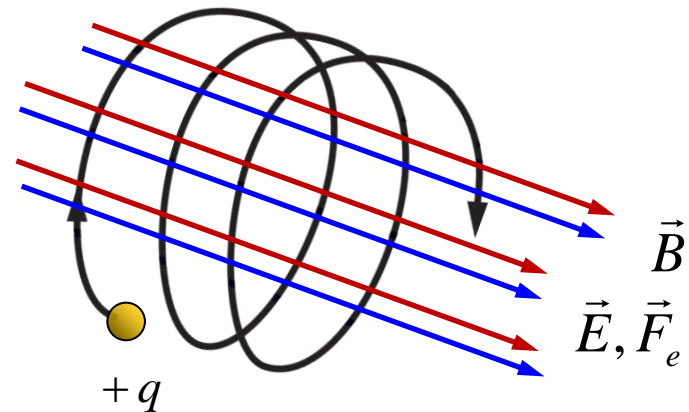
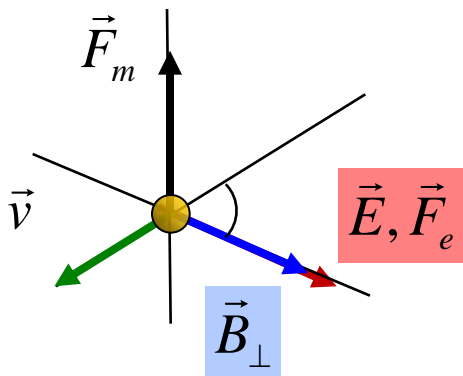
Figura 26.12 Tipler 5a ed.

# Tema 5: EL CAMP MAGNETOSTÀTIC

## 5.6. Força de Lorentz

Moviment d'una càrrega en presència de  $B$  i  $E$  uniformes

- $E \parallel B$ : 
$$\vec{F}_L = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) = \vec{F}_e + \vec{F}_m$$
  - >  $F_e$ : moviment accelerat en direcció de  $E$  ( $q > 0$ )
  - >  $F_m$ : moviment circular en el pla perpendicular a  $E$ - $B$
  - > **trajectòria en espiral**

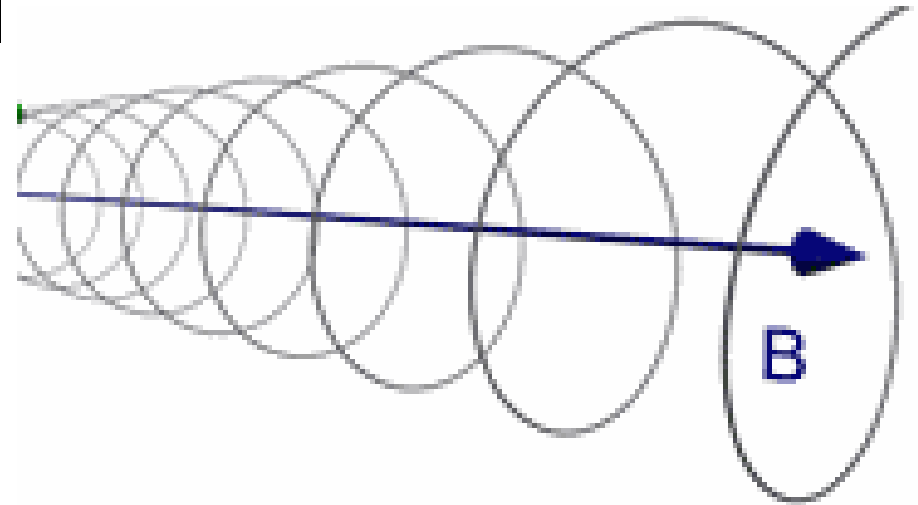
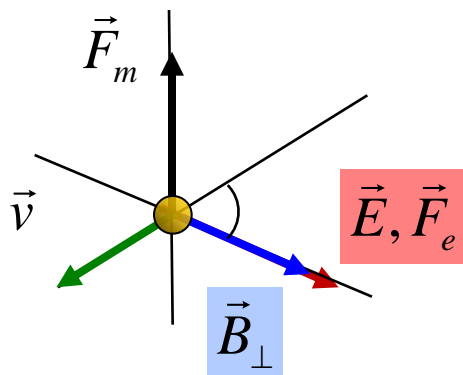


# Tema 5: EL CAMP MAGNETOSTÀTIC

## 5.6. Força de Lorentz

Moviment d'una càrrega en presència de  $B$  i  $E$  uniformes

- $E \parallel B$ : 
$$\vec{F}_L = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) = \vec{F}_e + \vec{F}_m$$
  - >  $F_e$ : moviment accelerat en direcció de  $E$  ( $q > 0$ )
  - >  $F_m$ : moviment circular en el pla perpendicular a  $E$ - $B$
  - > **trajectòria en espiral**

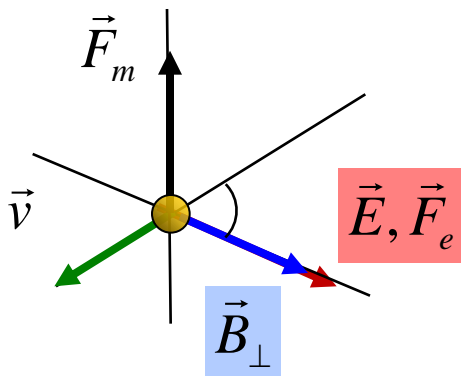


# Tema 5: EL CAMP MAGNETOSTÀTIC

## 5.6. Força de Lorentz

Moviment d'una càrrega en presència de  $B$  i  $E$  uniformes

- $E \parallel B$ : 
$$\vec{F}_L = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) = \vec{F}_e + \vec{F}_m$$
  - >  $F_e$ : moviment accelerat en direcció de  $E$  ( $q > 0$ )
  - >  $F_m$ : moviment circular en el pla perpendicular a  $E$ - $B$
  - > **trajectòria en espiral**



[http://sirius.ucsc.edu/demoweb/e\\_m/electmag.php](http://sirius.ucsc.edu/demoweb/e_m/electmag.php)

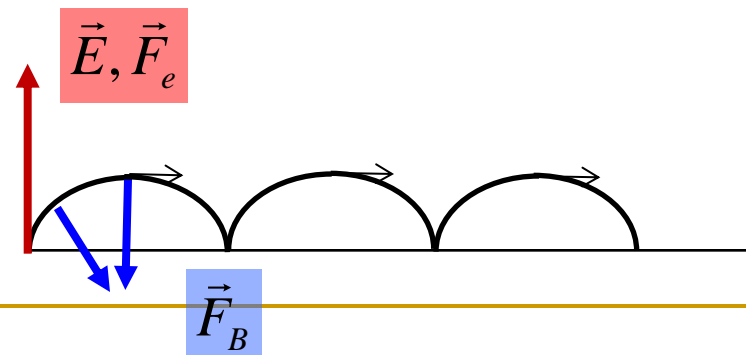
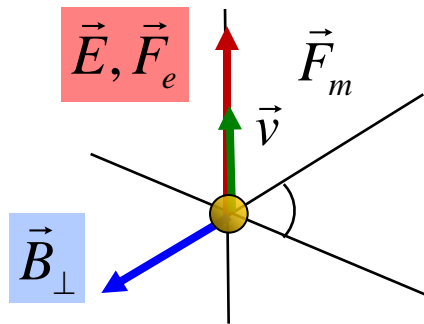


# Tema 5: EL CAMP MAGNETOSTÀTIC

## 5.6. Força de Lorentz

Moviment d'una càrrega en presència de  $B$  i  $E$  uniformes

- $E \perp B$ ,  $E \parallel v$ :  $\vec{F}_L = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) = \vec{F}_e + \vec{F}_m$ 
  - >  $F_e$ : moviment accelerat en direcció de  $E$  ( $q > 0$ )
  - >  $F_m$ : moviment circular en el pla perpendicular a  $E$ - $B$
  - > hi ha posicions en què les dues forces se sumen o es compensen
  - > **trajectòria cicloïdal o trocoïdal** (en funció de  $v$ )

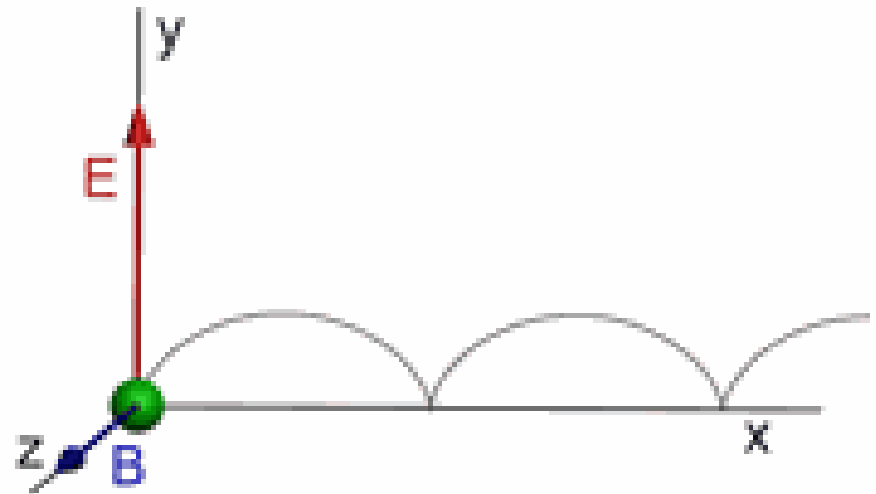
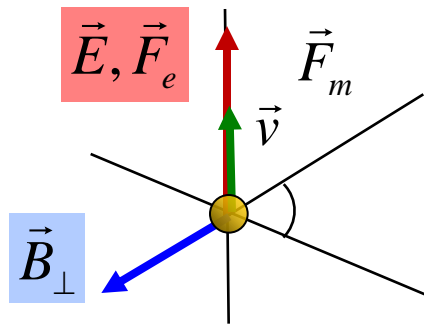


# Tema 5: EL CAMP MAGNETOSTÀTIC

## 5.6. Força de Lorentz

Moviment d'una càrrega en presència de  $B$  i  $E$  uniformes

- $E \perp B$ ,  $E \parallel v$ :  $\vec{F}_L = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) = \vec{F}_e + \vec{F}_m$ 
  - >  $F_e$ : moviment accelerat en direcció de  $E$  ( $q > 0$ )
  - >  $F_m$ : moviment circular en el pla perpendicular a  $E$ - $B$
  - > hi ha posicions en què les dues forces se sumen o es compensen
  - > **trajectòria cicloïdal**



[http://physics-animations.com/Physics/English/elec\\_txt.htm](http://physics-animations.com/Physics/English/elec_txt.htm)

# Tema 5: EL CAMP MAGNETOSTÀTIC

## 5.6. Força de Lorentz

### Moviment d'una càrrega en presència de $B$ i $E$ uniformes

- $E \perp B$ ,  $E \parallel v$ :  $\vec{F}_L = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) = \vec{F}_e + \vec{F}_m$ 
  - >  $F_e$ : moviment accelerat en direcció de  $E$  ( $q > 0$ )
  - >  $F_m$ : moviment circular en el pla perpendicular a  $E$ - $B$
  - > hi ha posicions en què les dues forces se sumen o es compensen
  - > **trajectòria trocoïdal**

