

## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

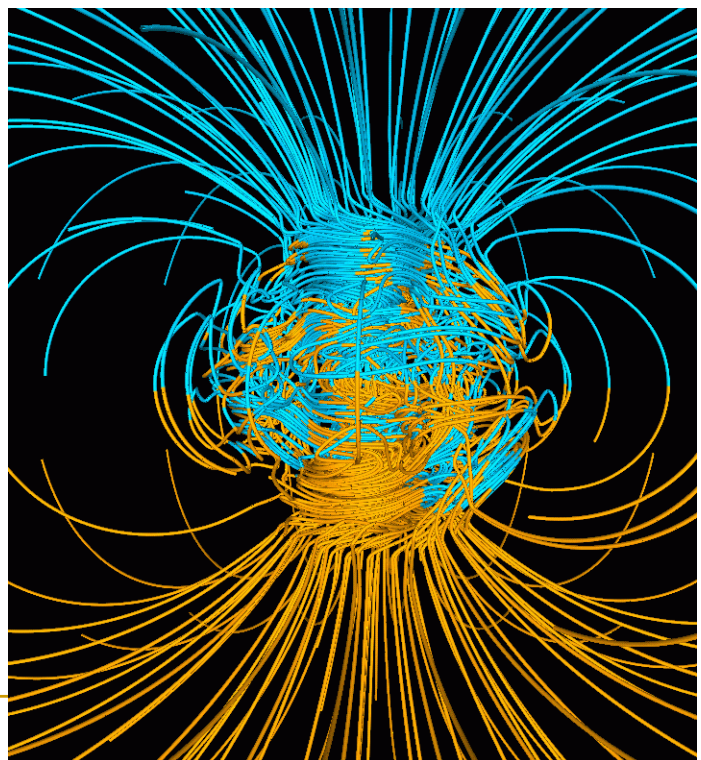
**Com detecten els taurons les seues preses quan estan soterrades?**



<http://mixandfix.wordpress.com/2009/06/>

## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

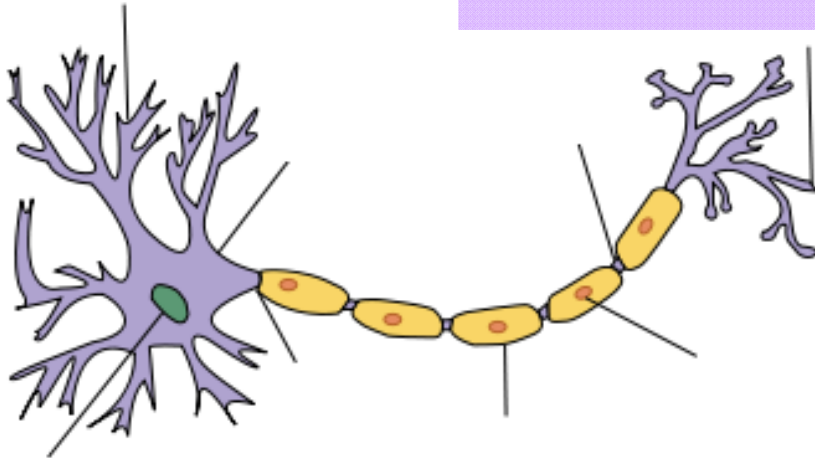
**Com és el camp magnètic de la Terra?**



[http://stargazers.gsfc.nasa.gov/resources/magnet\\_in\\_space\\_sp.htm](http://stargazers.gsfc.nasa.gov/resources/magnet_in_space_sp.htm)

## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

**Com condueixen l'impuls nerviós les neurones?**

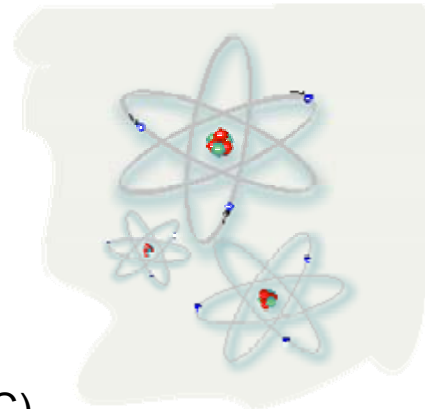


<http://es.wikipedia.org/wiki/Dendrita>

## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

### 2.1 Força i camp elèctric

- Càrrega  $q$  en un àtom:
  - càrregues positives: protons
  - càrregues negatives: electrons
- Unitat de càrrega en el SI: coulomb (C)
- Unitat fonamental de  $q$  = mínima càrrega coneguda = càrrega de l'electró:  
$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$
- El coulomb és una unitat gran:
  - $\mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$
  - $\text{nC} = 10^{-9} \text{ C}$



<http://www.cnea.gov.ar/xxi/primeras/quees.asp>

---

## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

### 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

#### ■ Força entre càrregues: llei de Coulomb

- Charles Coulomb obtingué la llei que porta el seu nom i que, en resum, diu:
    - *“La força exercida per una càrrega puntual sobre una altra està dirigida al llarg de la línia que les uneix. La força varia inversament amb el quadrat de la distància que separa les càrregues i és proporcional al producte de les càrregues. És repulsiva si les càrregues tenen el mateix signe i atractiva si tenen signes oposats”.*
- 

---

## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

### 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

#### ■ Força entre càrregues: llei de Coulomb

- La força de  $q_1$  sobre  $q_2$  es pot expressar com:

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_r$$

- $q_1$  i  $q_2$  són els valors de les càrregues (amb signe)
  - $r$  la distància entre aquestes
  - $k$  una constant que en el buit:  $k = k_0 = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$
  - $\vec{u}_r$  un vector unitari:
    - aplicat sobre  $q_2$
    - en la direcció de la recta que uneix les càrregues
    - amb sentit “cap a fora” (sentit de  $q_1$  cap a  $q_2$ )
-

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Força entre càrregues: llei de Coulomb

- La força de  $q_1$  sobre  $q_2$ :

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_r$$



$q_1, q_2$  **mateix signe**  
(força repulsiva)

Força: mateix sentit que vector  $u_r$

vector  $u_r$

- aplicat sobre  $q_2$
- en la direcció de la recta que uneix les càrregues
- amb sentit "cap a fora" (sentit de  $q_1$  cap a  $q_2$ )

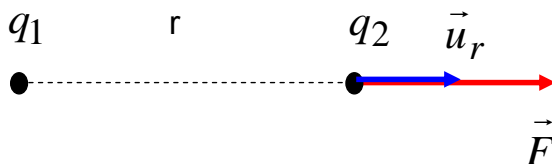
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Força entre càrregues: llei de Coulomb

- La força de  $q_1$  sobre  $q_2$ :

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_r$$



$q_1, q_2$  **mateix signe**  
(força repulsiva)



$q_1, q_2$  **signe oposat**  
(força atractiva)

mateix vector  $u_r$

- aplicat sobre  $q_2$
- en la direcció de la recta que uneix les càrregues
- amb sentit "cap a fora" (sentit de  $q_1$  cap a  $q_2$ )

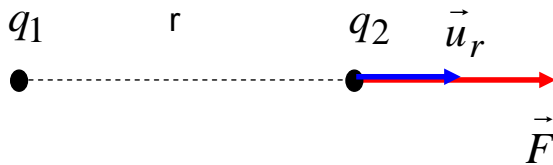
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Força entre càrregues: llei de Coulomb

- La força de  $q_1$  sobre  $q_2$ :

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_r$$



$q_1, q_2$  **mateix signe**  
(força repulsiva)



mateix vector  $u_r$ ,

$q_1, q_2$  **signe oposat**  
(força atractiva)

**Segons el signe relatiu de  $q_1, q_2$ ,  
 $F$  té el mateix signe que  $u_r$  o diferent!**

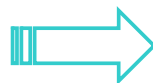
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Camp elèctric

- Considerem dues càrregues  $Q$  i  $q$  (menuda)
- Pas intermediari per al càlcul de  $F$  de  $Q$  sobre  $q$ :
  - La càrrega  $Q$  crea un "força per unitat de càrrega  $q$ " ( $F/q$ ) al seu voltant
  - que s'anomena *camp elèctric*  $E$
  - Aqueix camp elèctric  $E$  és el que fa una força sobre  $q$
- Comparat amb la força de Coulomb:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = k \frac{Qq}{r^2} \vec{u}_r$$



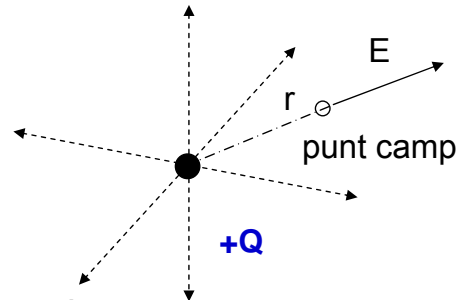
$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Camp elèctric

$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$



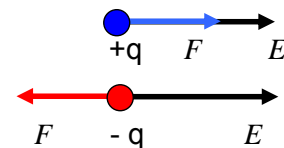
- $Q$  és el valor de la càrrega que crea el camp
- $r$  la distància entre  $Q$  i el punt camp
- $k$  constant que, en el buit  $k = k_0 = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2 / \text{C}^2$
- $\vec{u}_r$  vector
  - aplicat en el punt camp
  - en direcció radial (recta Q-pc)
  - amb sentit “cap a fora”

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Camp elèctric

- Concepte de camp: afegeix un pas ( $Q$  crea  $E$ ,  $E$  exerceix  $F$ )
- Aleshores la força:  $\vec{F} = q\vec{E}$ 
  - si  $q$  positiva,  $F$  en el sentit de  $E$
  - si  $q$  negativa,  $F$  en el sentit oposat a  $E$



- Unitat de  $E$ : N/C, V/m

- Suma vectorial:

$$\vec{E}_T = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

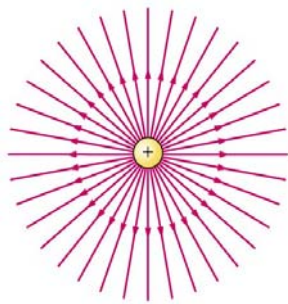
Font	Camp elèctric
Cable domèstic	$\sim 10^{-2}$ N/C
Ones de radi	$\sim 10^{-1}$ N/C
Núvol tempestuós	$\sim 10^3$ N/C
Tub de raigs X	$\sim 10^6$ N/C

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

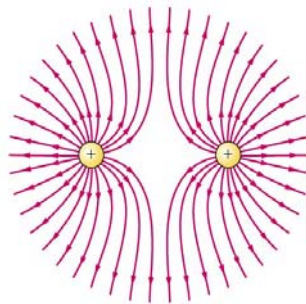
## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Línies de camp elèctric

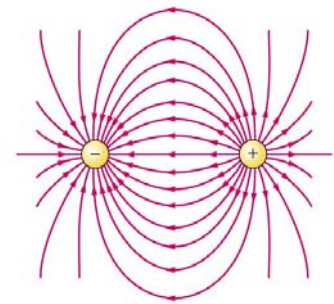
- Línies tangents en tot punt al vector  $\vec{E}$
- Permeten visualitzar la direcció i sentit de  $\vec{E}$



+Q



+Q y +Q



+Q y -Q

(dipol)

Figura 21.19 Tipler, 5a ed.

Figura 21.20 Tipler, 5a ed.

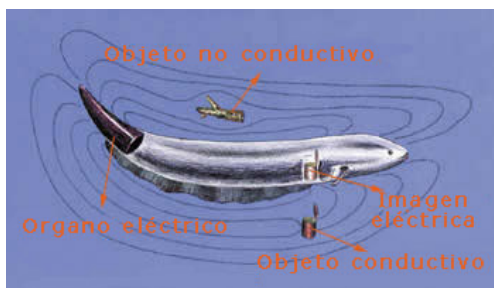
Figura 21.21 Tipler, 5a ed.

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### CURIOSITAT

- Peixos que hi "veuen" mitjançant un camp elèctric
- Emeten un camp elèctric mitjançant un òrgan especial.
- Detecten les ones reflectides mitjançant òrgans sensorials: determinen la grandària, les característiques i el moviment d'allò que els rodeja.

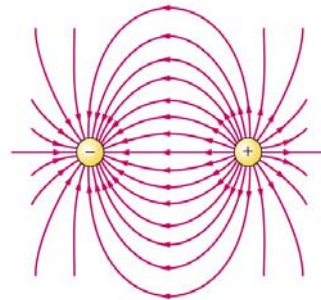


## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

### 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

#### CURIOSITAT

- Peixos que hi "veuen" mitjançant un camp elèctric
- El seu camp elèctric és equivalent al d'un dipol.



(dipol)

<http://www.harunyahya.com/es/naturaleza04.php>

## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

### 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

#### CURIOSITAT

- Peixos
- El seu c



**¡ATENCIÓN!**

**¡Imatges de pàgina  
creacionista!**

<http://www.harunyahya.com/es/naturaleza04.php>



---

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### CURIOSITAT

- *Applets* sobre camp elèctric i magnètic:

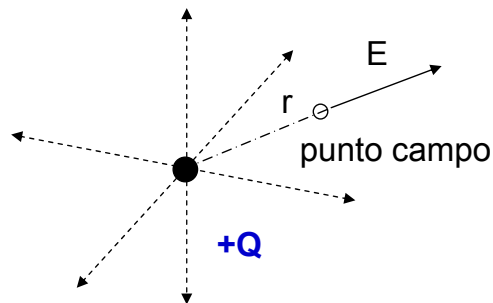
<http://www.falstad.com/emstatic/>

---

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

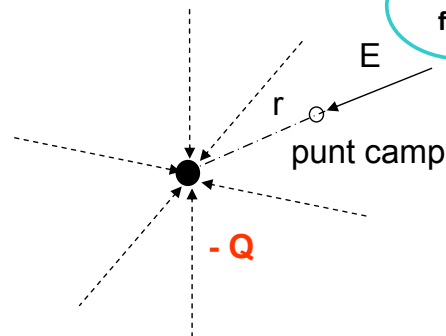
## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

- Camp creat per una càrrega puntual:



cap a fora ( $\vec{u}_r$ )

$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$



cap a dins ( $-\vec{u}_r$ )

cap a fora

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

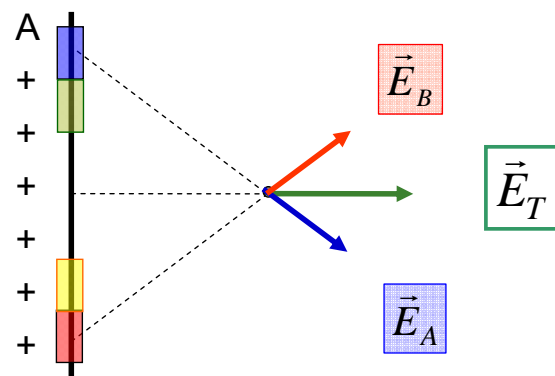
## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

- Camp creat per un pla carregat uniformement:

- Material conductor: les càrregues es poden moure lliurement
- Pla carregat uniformement: Q repartida en igual mesura
- Densitat de càrrega:  $Q/A \rightarrow C/m^2$

- Si Q positiva:

- Altres elements



- $\vec{E}_T$  sempre mateixa direcció: perpendicular al pla

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Camp creat per un pla carregat uniformement:

#### □ Mòdul de $E$ :

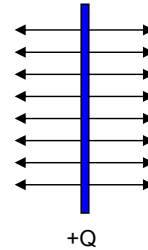
$$E = 2\pi k \frac{Q}{A}$$

- $E$  constant: no depèn de la posició

#### □ Direcció $E$ : perpendicular al pla

#### □ Sentit:

- pla amb  $q$  positiva → “cap a fora”
- pla amb  $q$  negativa → “cap a dins”

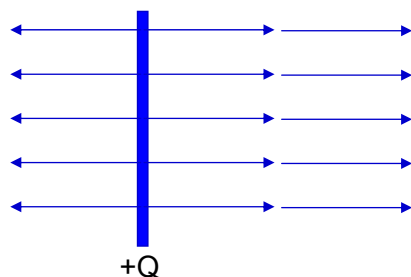


# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Camp creat per dos plans carregats:

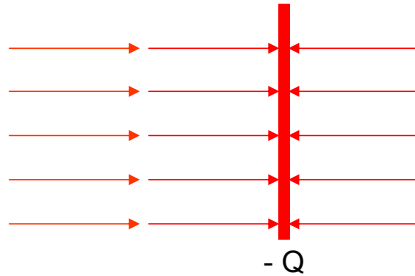
- $E$  es compensa fora dels plans i se suma entre aquests.



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

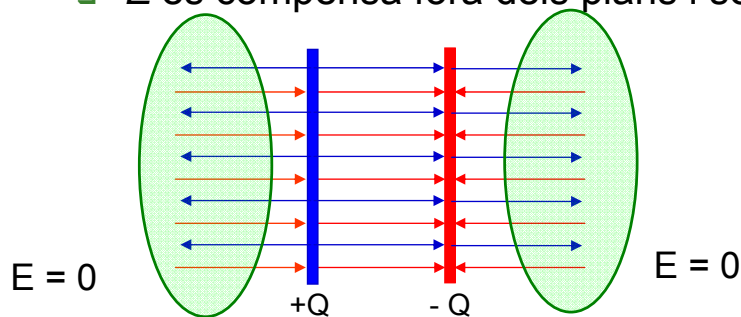
- Camp creat per dos plans carregats:
  - $E$  es compensa fora dels plans i se suma entre aquests.



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

- Camp creat per dos plans carregats:
  - $E$  es compensa fora dels plans i se suma entre aquests.

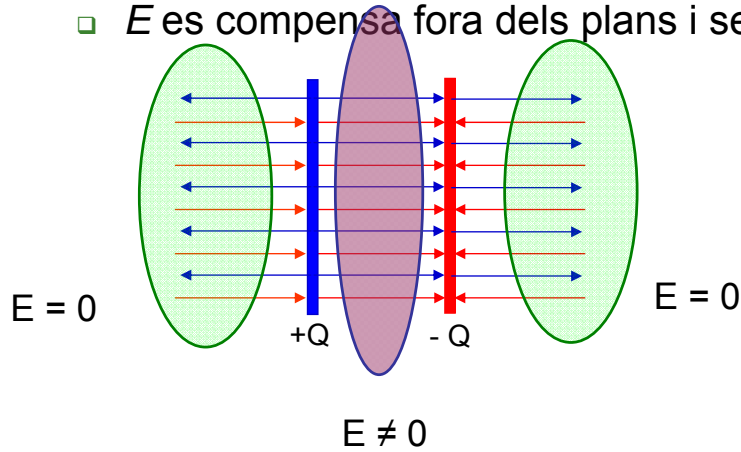


# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Camp creat per dos plans carregats:

- $E$  es compensa fora dels plans i se suma entre aquests.

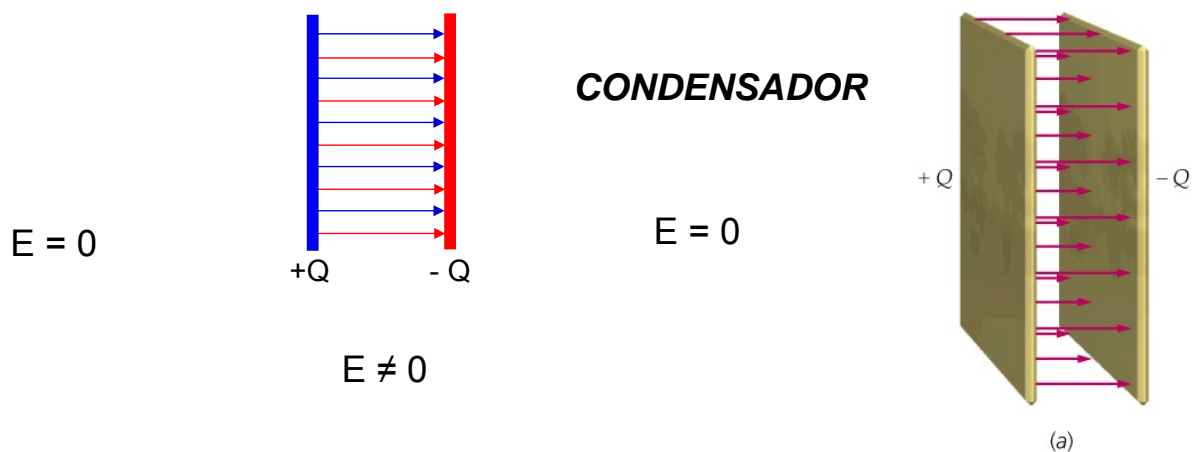


# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Camp creat per dos plans carregats:

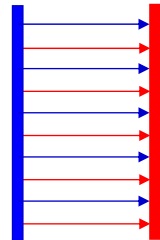
- $E$  es compensa fora dels plans i se suma entre aquests.



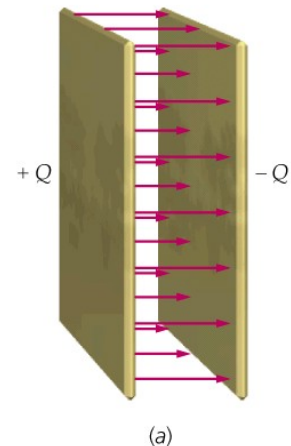
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

- Camp creat per dos plans carregats:
  - $E$  es compensa fora dels plans i se suma entre aquests.



**CONDENSADOR**



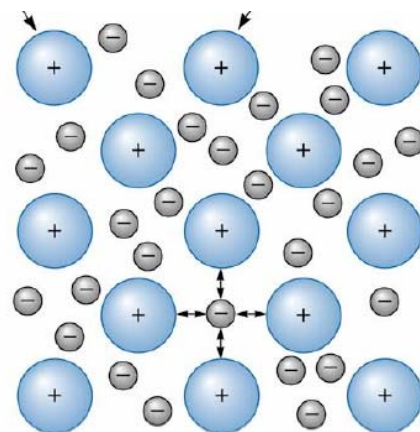
- D'aquesta manera:
  - mòdul de  $E$ : 
$$E = 4\pi k \frac{Q}{A}$$
  - direcció: perpendicular als plans
  - sentit: de +Q cap a -Q

*Figura 24.2 Tipler 5a ed.*

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

- Efecte d'un dielèctric:
  - Conductor: les càrregues es poden moure lliurement.



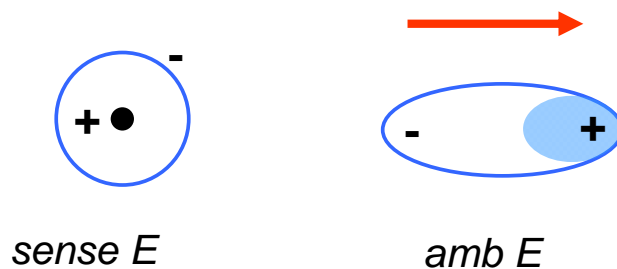
<http://www.ing.udep.edu.pe/>

Universidad de Piura  
Facultad de Ingeniería  
QUÍMICA GENERAL 1

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

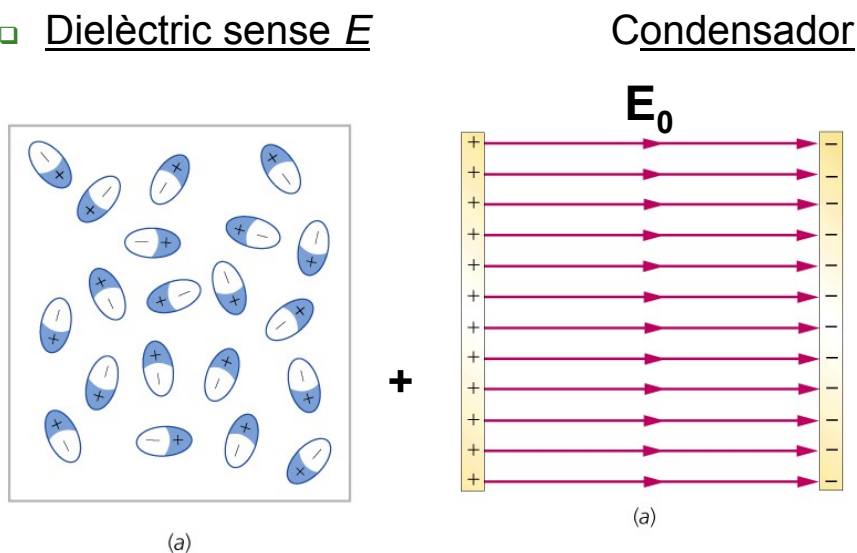
- Efecte d'un dielèctric:
  - Conductor: les càrregues es poden moure lliurement.
  - Dielèctric o aïllant: les càrregues només es poden separar lleugerament de la seua posició d'equilibri.
    - S'orienten en presència del camp elèctric.



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

- Efecte d'un dielèctric:
  - Dielèctric sense  $E$



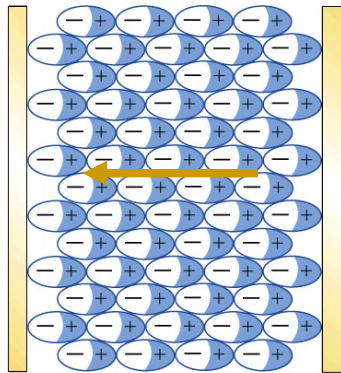
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Efecte d'un dielèctric:

#### □ Dielèctric en un condensador

- S'ORIENTA: crea un  $E_{\text{diel}}$  → que redueix el  $E_0$



$E_0$

Figura 24.24 Tipler 5a ed.

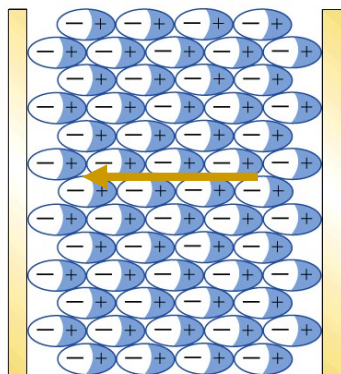
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Efecte d'un dielèctric:

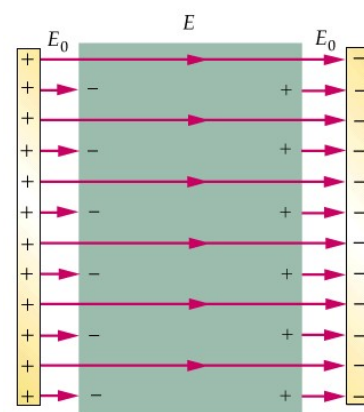
#### □ Dielèctric en un condensador

- S'ORIENTA: crea un  $E_{\text{diel}}$



$E_0$

$$E = E_0 - E_{\text{diel}}$$



(b)

Figura 24.24 Tipler 5a ed.



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Efecte d'un dielèctric:

- Una altra forma de reducció:  $E = \frac{E_0}{k_r}$
- Mitjançant:  $k = \frac{k_0}{k_r}$

constant  
dielèctrica  
relativa

- Camp càrrega puntual en presència DIELÈCTRIC

$$E' = \frac{E}{k_r} \quad \rightarrow \quad \vec{E}' = \frac{k_0}{k_r} \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r = k \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r$$

- Camp plans paral·lels en presència DIELÈCTRIC

$$E' = \frac{E}{k_r} \quad \rightarrow \quad E' = 4\pi \frac{k_0}{k_r} \frac{Q}{A} = 4\pi k \frac{Q}{A}$$

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.1 Força i camp elèctric (cont.)

### ■ Efecte d'un dielèctric:

- Constant dielèctrica relativa  
(Kane, T16.1)

Material	$k_r$
aire	1
paper	3.5
vidre	5-10
membrana axó	8
plàstic	3-20
aigua	78

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

producte  
escalar

## 2.2 Potencial elèctric

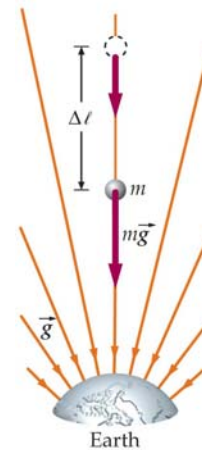
- El treball elemental que fa una força  $\Delta W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{L}$
- Quan el treball el fa un camp conservatiu, el fa per disminuir la seua energia potencial.

- Exemple: camp gravitatori

- massa  $m$  cau de dalt cap avall
- camp gravitatori fa el treball
- des d'un punt amb una certa energia potencial cap a un altre amb energia potencial menor

$$\Delta U = [U]_{final} - [U]_{inicial} = -\vec{F} \cdot d\vec{L}$$

$$[U]_{final} < [U]_{inicial}$$



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.2 Potencial elèctric

- Camp elèctric: també és conservatiu

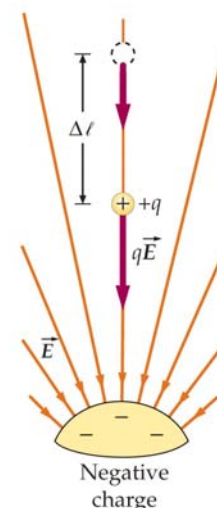
$$\Delta U = [U]_{final} - [U]_{inicial} = -\vec{F} d\vec{L} = -q\vec{E} d\vec{L}$$

- $\Delta U$  depèn del signe de  $q$ :

- diferència de potencial:  
diferència d'energia potencial per unitat de càrrega de prova:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} = -\vec{E} \cdot d\vec{L}$$

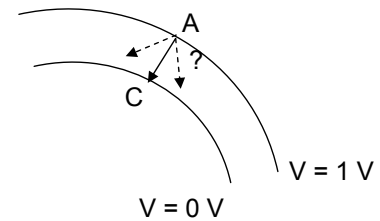
- Unitat: volt (V)
- Punts amb el mateix potencial → línia equipotencial



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.2 Potencial elèctric (cont.)

- Avantatge del potencial:
  - ESCALAR
  - conté informació sobre  $E$



- Característiques de  $E$  a partir de  $V$ :

- **SENTIT**

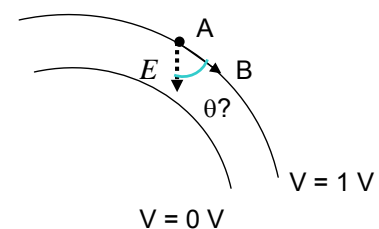
- Per ser conservatiu, el camp elèctric va dirigit des de punts amb un potencial major cap a punts amb un potencial menor.
- De A cap a C.

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.2 Potencial elèctric (cont.)

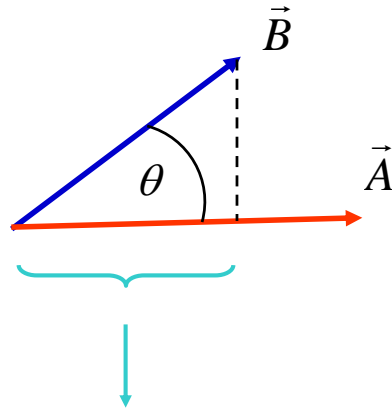
- **DIRECCIÓ**

- El camp elèctric és perpendicular a les línies equipotencials.
- En efecte: si desplaçem una càrrega des de A cap a B sobre una línia equipotencial, aleshores  $\Delta V = 0$



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## PRODUCTE ESCALAR



$$C = \vec{A} \cdot \vec{B} = A B \cos \theta$$

$B \cos \theta$  : projecció del vector B sobre el A

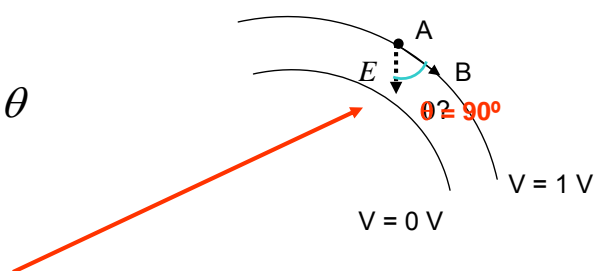
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.2 Potencial elèctric (cont.)

### ■ DIRECCIÓ

- El camp elèctric és perpendicular a les línies equipotencials.
- En efecte: si desplacem una càrrega des de A cap a B sobre una línia equipotencial, aleshores

$$\left. \begin{aligned} \Delta V &= 0 \\ \Delta V &= -\vec{E} \Delta \vec{L} = -E \Delta L \cos \theta \end{aligned} \right\}$$
$$-E \Delta L \cos \theta = 0$$



**Sols si  $E \perp$  a línies equipotencials**

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.2 Potencial elèctric (cont.)

### ■ MÒDUL

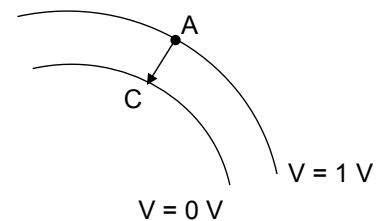
- Si un  $E$  *CONSTANT* desplaça  $q$  des de A cap a C

$$\Delta V = -\vec{E} \Delta \vec{L} = -E \Delta L \cos 0 = -E \Delta L \quad \Rightarrow \quad E = -\frac{\Delta V}{\Delta L}$$

- Podem calcular el mòdul del camp elèctric com a

$$|E| = \frac{|\Delta V|}{\Delta L}$$

- $\Delta V$ : ddp entre línies equipotencials
- $\Delta L$ : **distància perpendicular** entre línies equipotencials



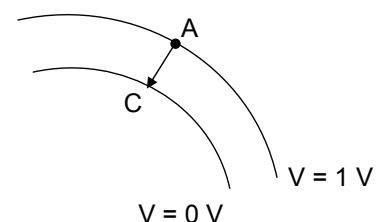
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.2 Potencial elèctric (cont.)

### ■ MÒDUL

- Si el camp elèctric  $E$  **NO** és constant:

$$E = -\frac{dV}{dL}$$



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.3 El condensador

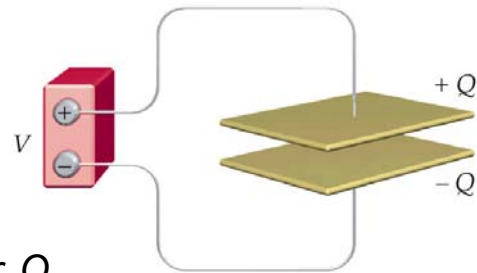
### ■ Condensador:

- 2 plans conductors
  - pila  $\rightarrow \Delta V \rightarrow$  càrrega  $+Q$  i càrrega  $-Q$
- } condensador

### ■ Capacitat del condensador

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

- unitat: farad (F)
- capacitat per a emmagatzemar  $Q$



**CONDENSADOR  $\rightarrow$  plans carregats (plaques)**  
 **$\rightarrow$  només camp entre plaques**

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.3 El condensador

- Camp elèctric:  $E = 4\pi k \frac{Q}{A}$



dirigit de la placa  $+$  a la  $-$

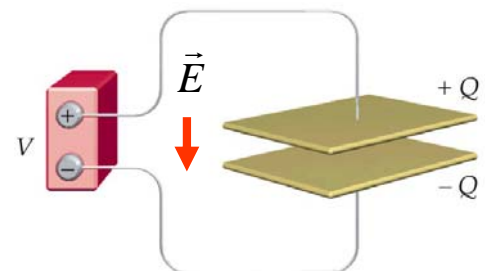
Potencial:  $\Delta V = E \Delta L = 4\pi k \frac{Q}{A} d$



$V_+ > V_-$

- Capacitat:

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{4\pi k \frac{Q}{A} d} = \frac{A}{4\pi k d}$$



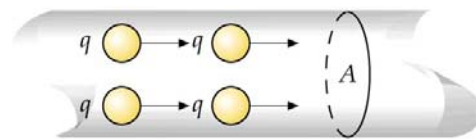
només factors geomètrics

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.4 Corrent elèctric

- Conductors són aquells materials en què les càrregues es poden desplaçar amb facilitat.
- Aïllants o dielèctrics són aquells materials en què les càrregues no tenen capacitat de moviment.
- Corrent elèctric: nombre de càrregues elèctriques que passen per la secció transversal d'un conductor en una unitat de temps:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$



⇒ unitat: ampere (A)

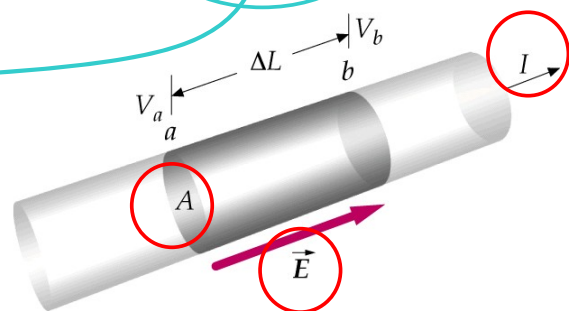
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.4 Corrent elèctric

- Llei d'Ohm per a un medi conductor:
  - Les càrregues es mouen a causa de  $E$  *(Observació experimental)*
  - $I/A$  és proporcional a  $E$ :  $\frac{I}{A} \propto E$  →  $\frac{I}{A} = \sigma E$
  - Constant de proporcionalitat: conductivitat
  - Resistivitat: inversa de la conductivitat:

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

$$\frac{I}{A} = \frac{1}{\rho} E$$



LLEI D'OHM PER A MEDIS MATERIALS

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.4 Corrent elèctric

- Llei d'Ohm per a un medi conductor:
  - Resistivitat de diferents materials

Material	$\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )	Tipus
Coure	$1.7 \times 10^{-8}$	<b>C</b>
Alumini	$2.6 \times 10^{-8}$	<b>C</b>
Germani	0.6	<b>S</b>
Silici	$2.4 \times 10^3$	<b>S</b>
Vidre	$10^{10}-10^{14}$	<b>A</b>
Fluids del cos humà	0.15	<b>S</b>

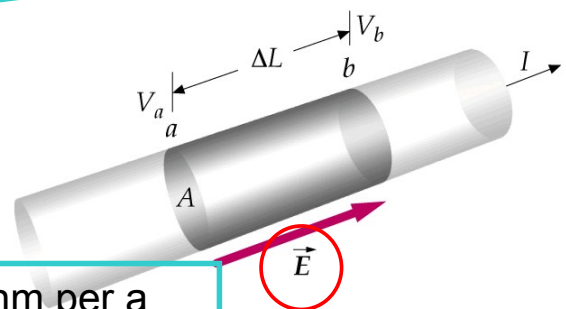
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

$$\frac{I}{A} = \frac{1}{\rho} E \rightarrow E = \frac{I \rho}{A}$$

## 2.4 Corrent elèctric

- Llei d'Ohm per a un conductor cilíndric:
  - Cable conductor amb un camp elèctric constant  $E$
  - La ddp entre extrems:  $V_A - V_B = E L$
  - Si substituïm:

$$V_A - V_B = \frac{I \rho}{A} L = \rho \frac{L}{A} I = R I$$



### RESISTÈNCIA $R$

només depèn del material ( $\rho$ )  
i de la geometria ( $L$ ,  $A$ )

- unitat: ohm ( $\Omega$ )

Llei d'Ohm per a  
un  
cable conductor:  
 $V_A - V_B = R I$



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

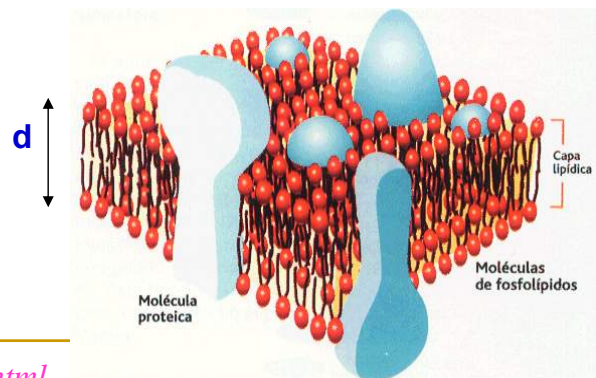
## 2.7 Propietats estàtiques de la membrana cel·lular

### ■ Cèl·lula:

- rodejada per membrana plasmàtica
- model acceptat avui en dia: mosaic fluid
- comú per a tots els organismes vius (animals, plantes i microorganismes)

### ■ Membrana

- gruix  $d$  entre 8 i 12 nm
- doble capa lipídica
- proteïnes: canals iònics



<http://www.tcb.cl/1535/article-61144.html>

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.7 Propietats estàtiques de la membrana cel·lular

### ■ Camp elèctric en la membrana

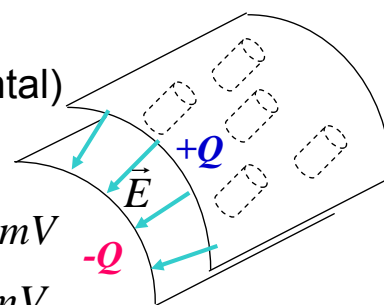
- moviment d'ions  $\rightarrow$  càrrega elèctrica neta en parets
- camp elèctric en interior de la membrana
- diferència de potencial elèctric entre l'exterior i el citoplasma  $\rightarrow$  **potencial de membrana**

### ■ Valors

- $E \approx 10^7 \text{ N/C}$  (valor experimental)
- per a  $d \cong 10 \text{ nm}$

$$\Delta V = E \Delta L = 10^7 \cdot 10^{-8} = 0.1 \text{ V} = 100 \text{ mV}$$

$$V_{\text{ext}} \approx 0 \text{ mV} \quad V_{\text{int}} \approx -100 \text{ mV}$$



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.7 Propietats estàtiques de la membrana cel·lular

### ■ Capacitat de la membrana

- Membrana  $\cong$  condensador pla
- Capacitat de la membrana

$$C = \frac{k_r A}{4\pi k_0 d}$$

- Capacitat per unitat d'àrea:

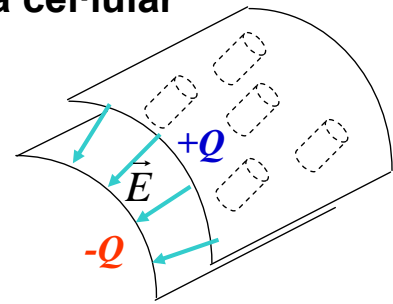
$$\frac{C}{A} = \frac{k_r}{4\pi k_0 d}$$

unitats: F/m<sup>2</sup>

- Càrrega per unitat d'àrea:

$$\frac{Q}{A} = \frac{CV}{A} = \frac{C}{A} E \cdot d$$

unitats:  $\Omega$ /m<sup>2</sup>



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## Estructura de les cèl·lules nervioses

UNA ramificació llarga

### ■ Parts

- cos (nucli i dendrites) i axó

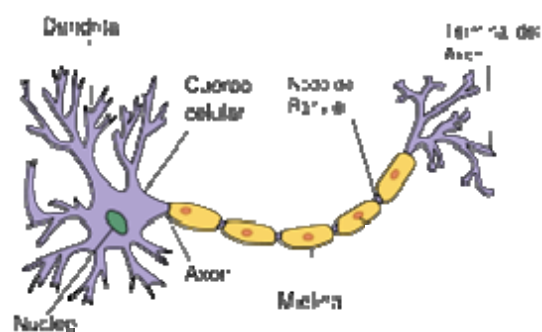
ramificacions curtes

### ■ Axó:

- únic per a una neurona
- diàmetre: entre 1 i 20  $\mu$ m
- longitud: fins a 1.20 m

### ■ IMPULS NERVIÓS:

- Dendrites (receptors)  $\rightarrow$  nucli  $\rightarrow$  axó (emissor)
- connexions: SINAPSIS

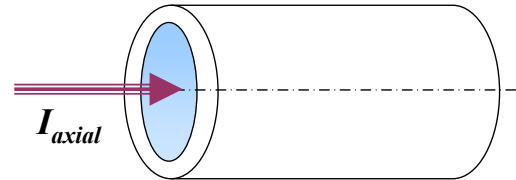


## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

### Resistència i capacitat de l'axó

- Axó: simetria cilíndrica
- Resistència de l'axoplasma (axial):

- Conductor cilíndric:
  - longitud  $L$
  - àrea transversal  $A_{trans}$



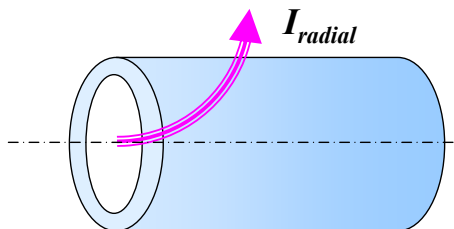
- Resistència:

$$R_{axop} = \rho_{axop} \frac{L}{A_{trans}}$$

## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

### Resistència i capacitat de l'axó SENSE mielina

- Resistència de la membrana (radial):

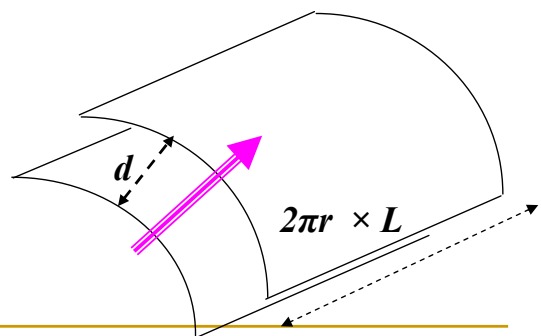


- Làmina:

- longitud  $d$
- àrea lateral  $2\pi r \cdot L$

- Resistència:

$$R_{memb} = \rho_{memb} \frac{d}{A_{memb}}$$



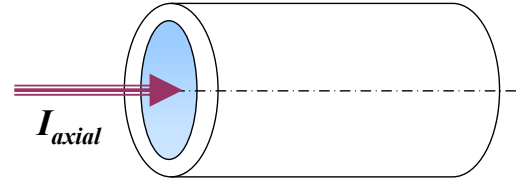
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## Resistència i capacitat de l'axó **SENSE** mielina

### ■ Axó: conductor de corrent elèctric:

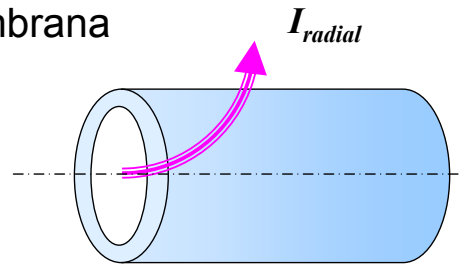
- mal conductor: l'axoplasma

RESISTÈNCIA  $\neq 0$



- recobert d'un mal aïllant: la membrana

RESISTÈNCIA  $\neq \infty$



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

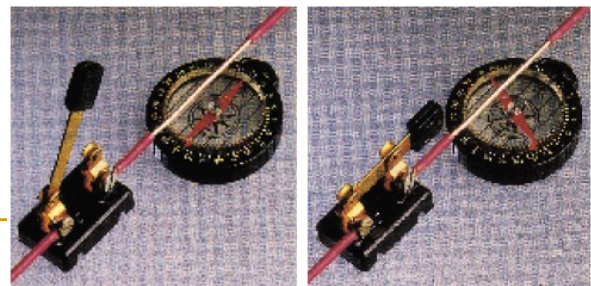
## 2.6.1 Camp magnètic

- Agulles imantades (brúixoles) **s'orienten** amb la Terra (Xina, abans de Jesucrist; Europa, s. XII)
- Agulles imantades (brúixoles) **s'orienten** en presència de la magnetita (òxid de ferro)
- Agulles imantades (brúixoles) **s'orienten** en presència d'un corrent elèctric (en 1820 H.C. Oersted)



Figures pàg. 795, 816  
Tipler 5a ed.

**En definitiva, les agulles imantades S'ORIENTEN amb la Terra, la magnetita i els corrents elèctrics amb el CAMP MAGNÈTIC**



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.1 Camp magnètic

Relació entre corrents i imants:

- Espira circular: camp magnètic en eix
- Barra magnetita: camp magnètic en eix
  - Quina relació existeix entre ambdós camps magnètics?
- La magnetita: àtoms estan alineats
  - corrents microscòpiques en la mateixa direcció
  - es compensen parcialment en el centre
  - és equivalent a un corrent pel contorn

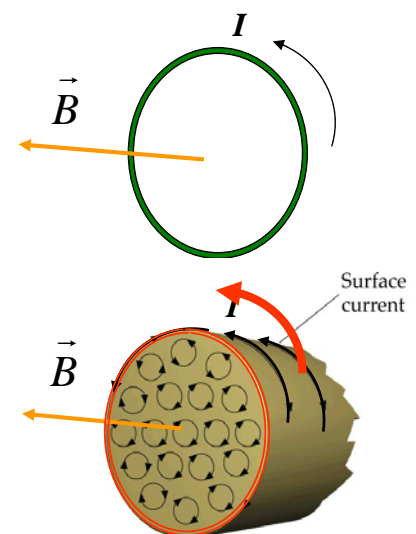


Figura 27.32 Tipler 5a ed.

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.1 Camp magnètic

- Fonts del camp magnètic: CORRENTS ELÈCTRICS (microscòpics o macroscòpics)
  - Camp elèctric: fonts → càrregues elèctriques
  - Unitat: tesla (T) → mT i  $\mu$ T

Font	Camp magnètic
Impuls axó	$\sim 10^{-10}$ T
Camp de la Terra	$\sim 10^{-4}$ T
Línia tramvia (500 A)	$\sim 10^{-4}$ T (a 2 m)
Camp RMN	$\sim 10^{-1}$ T

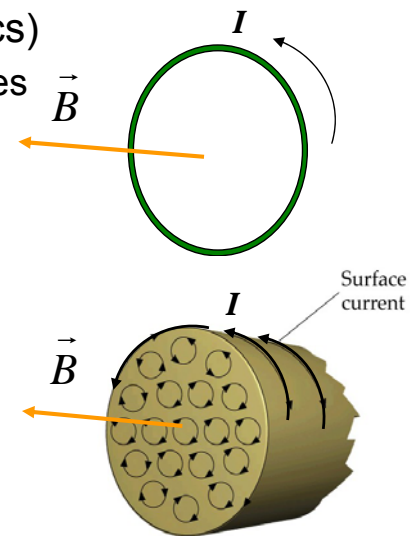


Figura 27.32 Tipler 5a ed.

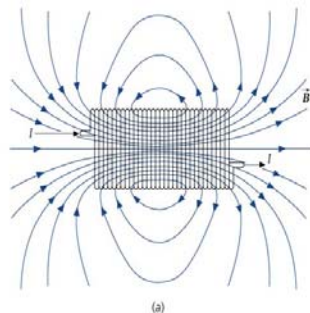
# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.1 Camp magnètic

Representació del camp magnètic:

- Línees de camp: línies@ tangents a  $\vec{B}$

**bobina**



- Per convenció, es denomina POL NORD l'extrem pel qual que ixen les línies de camp magnètic.

Figura 27.10 Tipler 5a ed.

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.1 Camp magnètic

### Camp magnètic de la Terra:

- La Terra és un gran imant:
  - NORD geogràfic → SUD magnètic
- Eix de rotació (nord i sud geogràfics) no coincideix exactament amb el pol magnètic: **declinació magnètica**
- Les línies del camp magnètic canvien la seua inclinació respecte de la superfície en funció de la latitud.



<http://www.unav.es/acienciart/otros/magnetcow.html>

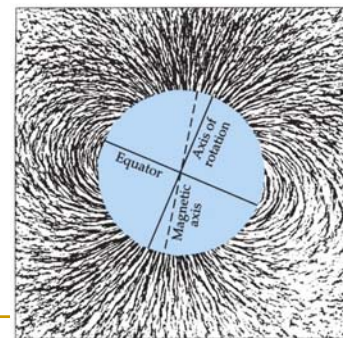


Figura 26.1 Tipler 5a ed.

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.1 Camp magnètic

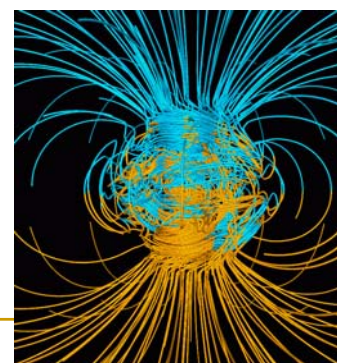
### Camp magnètic de la Terra:

- *On es troben els corrents "microscòpics" que creen el magnetisme de la Terra?*
- Camp magnètic Terra: creat per corrents dins del nucli de la Terra
- Corrents complexos: model geodinamo de Glatzmaier-Roberts

[http://stargazers.gsfc.nasa.gov/resources/magnet\\_in\\_space\\_sp.htm](http://stargazers.gsfc.nasa.gov/resources/magnet_in_space_sp.htm)



<http://www.unav.es/acienciart/otros/magnetcow.html>



## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

### 2.6.2 Força sobre una càrrega en moviment

- La força que fa un camp magnètic sobre una càrrega en moviment és

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \quad (\text{força de Lorentz})$$

- $q$ : càrrega que es mou
  - $\vec{v}$ : velocitat de la càrrega
  - $\vec{B}$ : camp magnètic aplicat
- 
- Força deguda a **camp elèctric**:  $\vec{F} = q\vec{E}$
  - Força deguda a **camp magnètic**: producte vectorial

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

## TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

### 2.6.2 Força sobre una càrrega en moviment

- Força resultant: producte vectorial  $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$

- mòdul:  $|\vec{F}| = q v B \sin\theta$   
 $\theta$ : angle entre  $\vec{v}$  i  $\vec{B}$

- direcció i sentit: “regla del caragol”
  - perpendicular al pla definit per  $\vec{v}$  i  $\vec{B}$
  - Sentit d’avanç del caragol

- direcció i sentit: “regla de la ma dreta”

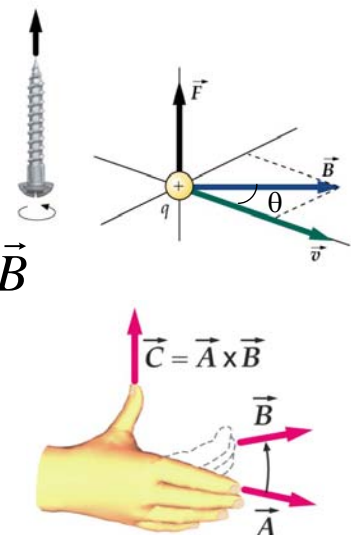


Figura 26.2 Tipler 5a ed.

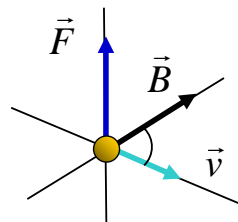
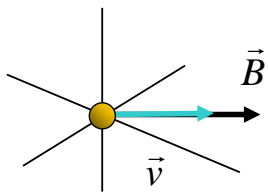


# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.2 Força sobre una càrrega en moviment

- Casos especials:

- Si  $\vec{v} \parallel \vec{B}$ ,  $\theta = 0^\circ$  (o  $180^\circ$ )



# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.2 Força sobre una càrrega en moviment

- Càrrega amb  $\vec{v}$  en zona amb  $\vec{B}$  uniforme, tal que  $\vec{v} \perp \vec{B}$
- La força és sempre perpendicular al vector velocitat
  - Modifica la seua direcció, però no el seu valor
  - El resultat és una trajectòria circular.

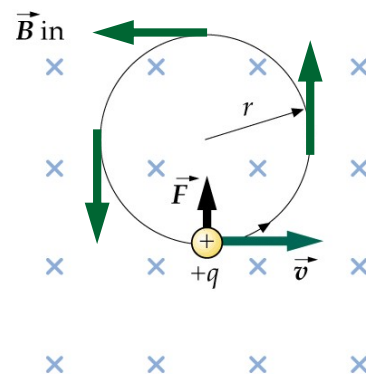
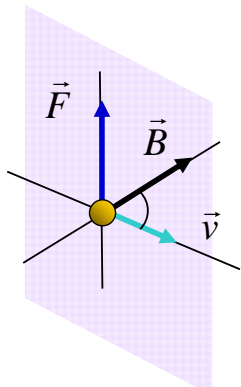


Figura 26.12 Tipler 5a ed.

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.3 Espectròmetre de masses

- La relació  $q/m$  és característica per a cada partícula.
  - S'utilitza per a identificar-les.
- Parts i principi de funcionament:
  - Font ionitzadora
    - Ionitza positivament la substància.

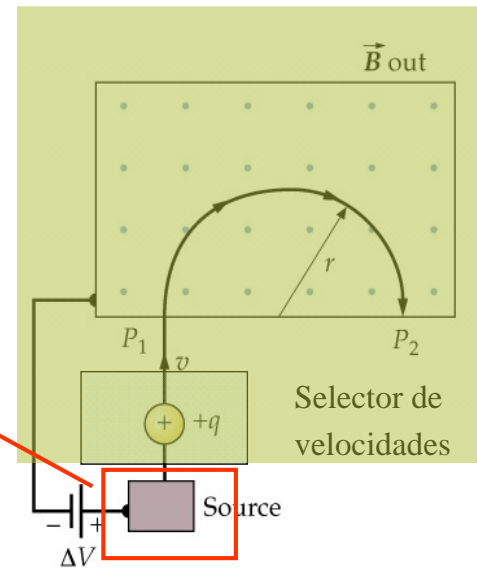


Figura 26.19 Tipler 5a ed.

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.3 Espectròmetre de masses

- La relació  $q/m$  és característica per a cada partícula.
  - S'utilitza per a identificar-les.
- Parts i principi de funcionament:
  - Font ionitzadora
    - Ionitza positivament la substància.
  - Selector de velocitats
    - Deixa passar NOMÉS els ions que porten una certa velocitat.

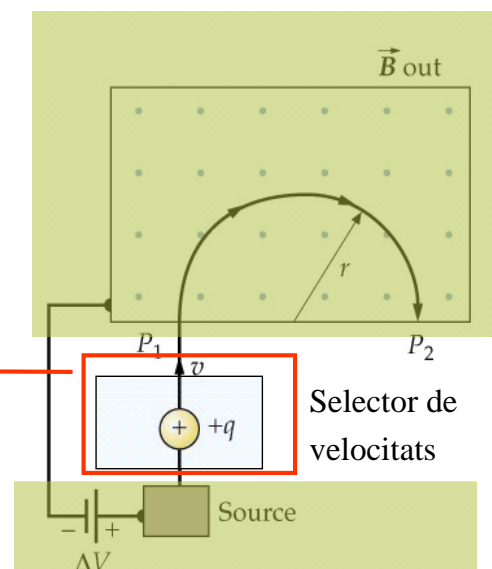


Figura 26.19 Tipler 5a ed.

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.3 Espectròmetre de masses

- La relació  $q/m$  és característica per a cada partícula.
  - S'utilitza per a identificar-les.
- Parts i principi de funcionament:
  - Font ionitzadora
    - Ionitza positivament la substància.
  - Selector de velocitats
    - Deixa passar **NOMÉS** els ions que porten una certa velocitat.
  - Cambra
    - Els ions es desvien
    - Mesurant  $P_1$  i  $P_2 \rightarrow q/m$

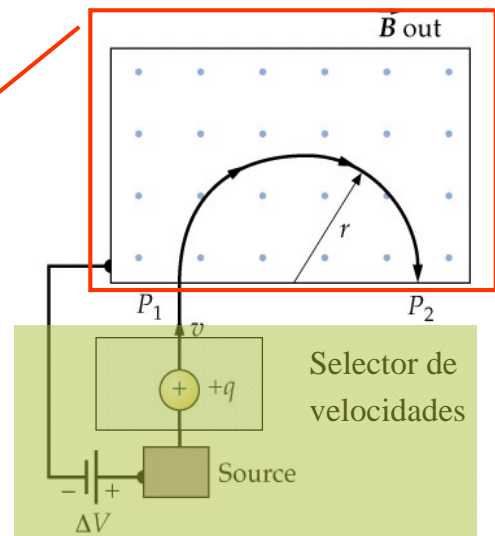


Figura 26.19 Tipler 5a ed.

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.3 Espectròmetre de masses

- Selector de velocitats:
  - Zona amb un  $\vec{E}$  i un  $\vec{B}$
  - Perpendiculars entre si i respecte de  $\vec{v}$
  - Forces:

$$F_E = q E$$

$$F_B = q v B_{in}$$

- només passen:  $F_E = F_B$

- per tant: 
$$v = \frac{E}{B_{in}}$$

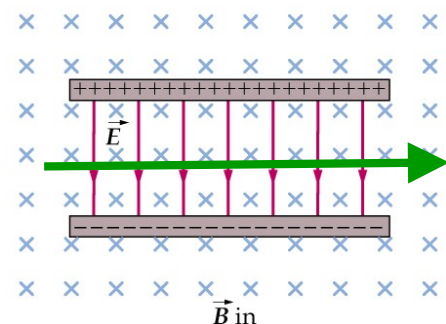


Figura 26.16 Tipler 5a ed.

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.3 Espectròmetre de masses

### ■ Selector de velocitats:

- Zona amb un  $\vec{E}$  i un  $\vec{B}$
- Perpendiculars entre si i respecte de  $\vec{v}$
- Forces:

$$F_E = q E$$

$$F_B = q v B_{in}$$

- només passen:  $F_E = F_B$

- per tant: 
$$v = \frac{E}{B_{in}}$$

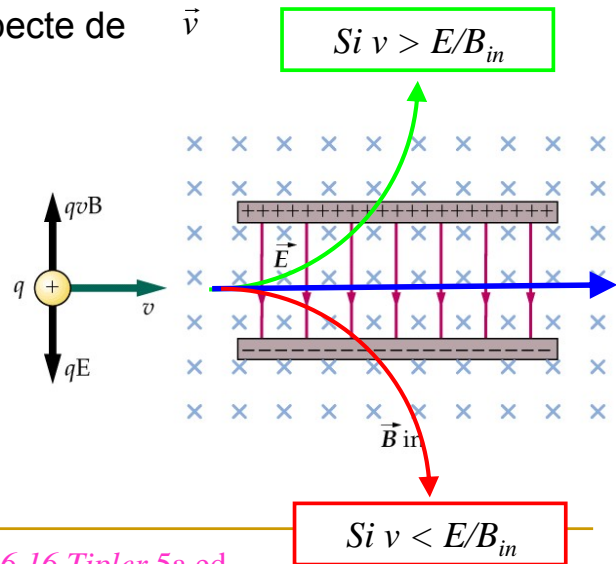


Figura 26.16 Tipler 5a ed.

# TEMA 2: BIOELECTROMAGNETISME

## 2.6.3 Espectròmetre de masses

### ■ Cambra:

- A causa de  $\vec{B}_{out}$  → trajectòria circular
- Radi de curvatura

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{v^2}{R} \\ a &= \frac{F_B}{m} \end{aligned} \right\} \frac{v^2}{R} = \frac{F_B}{m} = \frac{q v B_{out}}{m}$$

- Es calcula  $q/m$ :

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{R B_{out}}$$

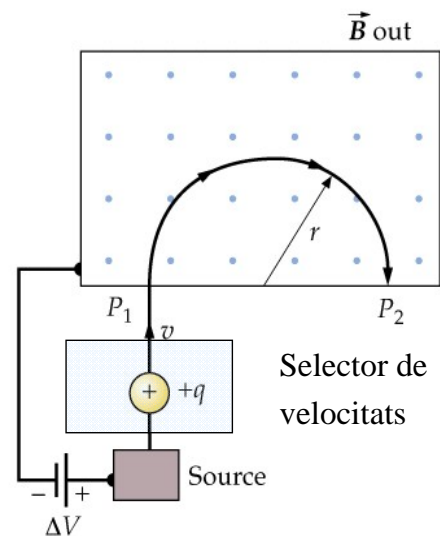


Figura 26.19 Tipler 5a ed.