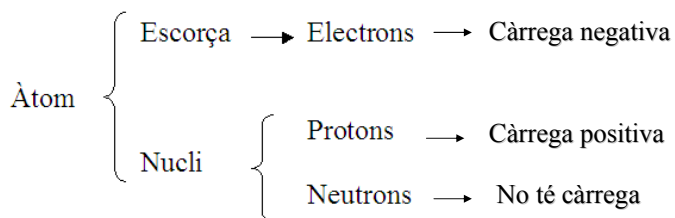


6.2.- EL CAMP ELÈCTRIC

2. L'origen de la càrrega elèctrica

Sabem del cert que tota la matèria que forma l'univers està formada per combinacions més o menys complexes d'àtoms. Penseu que a tot l'univers només hi trobarem 103 àtoms diferents que combinats de forma adient formen tot el que existeix.

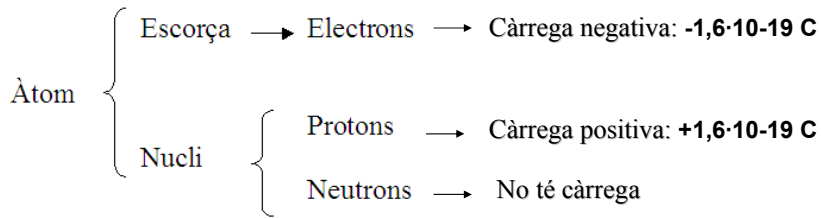
Bàsicament podem dir que qualsevol àtom està format per tres partícules minúscules: *els protons*, *els neutrons* i *els electrons*.



La càrrega elèctrica és una nova magnitud que es simbolitza per **Q**. La seva unitat és el **Coulomb** ($[Q]=1C$). La quantitat més petita de càrrega elèctrica en valor absolut que considerarem a 2n de batxillerat és la d'un electró. Ara bé en ser la càrrega d'un electró de $-1,6 \cdot 10^{-19} C$ per aconseguir una càrrega de $-1C$ ens calen $6,24 \cdot 10^{18}$ electrons

2. L'origen de la càrrega elèctrica

Els àtoms són neutres per tant:

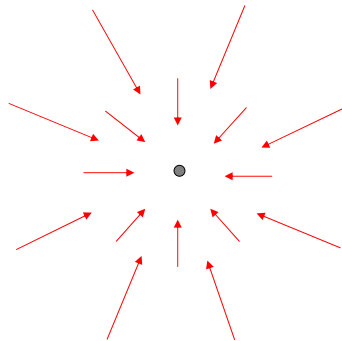


En un àtom neutre el nombre d'electrons i protons coincideix.

3. Efectes de la càrrega: El camp elèctric

Suposem que tenim una càrrega elèctrica en un punt de l'espai. Aquesta càrrega crea una pertorbació en tots els punts del seu voltant i afectarà a altres partícules carregades elèctricament i que estiguin prop seu.

$Q < 0$



El camp elèctric creat al voltant de la càrrega és radial, és **proporcional a la càrrega** i inversament proporcional a la **distància al quadrat de la càrrega** (*)

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

- * Si $Q > 0$: Camp repulsiu
- Si $Q < 0$: Camp atractiu

$$K = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

3. El camp elèctric

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

Fixeu-vos que la fórmula del camp elèctric conté dues parts ben diferenciades.

Mòdul
v.u.

El mòdul: Indica el valor del camp elèctric (*)

El vector unitari: Ens indica la direcció del camp elèctric. Vector amb mòdul 1

El vector unitari es calcula amb la següent equació

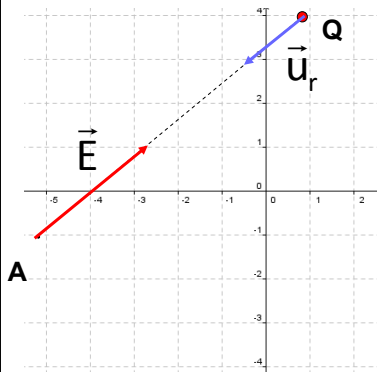
$$\vec{u}_r = \frac{\vec{r}_A - \vec{r}_Q}{|\vec{r}_A - \vec{r}_Q|}$$

Veiem-ne un exemple.

(*) Sempre per a $Q > 0$. Si $Q < 0$, cal fer el valor absolut

EXEMPLE

Calcula el camp elèctric que crea una càrrega elèctrica de $-3 \mu\text{C}$ en el punt A. La càrrega està situada en el punt (3,4) el punt A situat en (-3,-1).



El primer que fareu sempre és calcular el vector unitari.

$$\begin{aligned} \vec{u}_r &= \frac{\vec{r}_A - \vec{r}_Q}{|\vec{r}_A - \vec{r}_Q|} = \frac{(-1, -3) - (3, 4)}{|(-1, -3) - (3, 4)|} \\ &= \frac{(-1, -3) - (3, 4)}{|(-1, -3) - (3, 4)|} = \frac{(-4, -7)}{\sqrt{(-4)^2 + (-7)^2}} \\ &= \frac{(-4, -7)}{\sqrt{65}} = \left(\frac{-4}{\sqrt{65}}, \frac{-7}{\sqrt{65}} \right) \end{aligned}$$

$$\vec{E} = K \frac{Q}{r^2} \vec{u}_r = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{-3 \cdot 10^{-6}}{65} \cdot \left(\frac{-4}{\sqrt{65}}, \frac{-7}{\sqrt{65}} \right) = (+206'09, +360'65) \text{ N/C}$$

4. Superposició de camps elèctrics

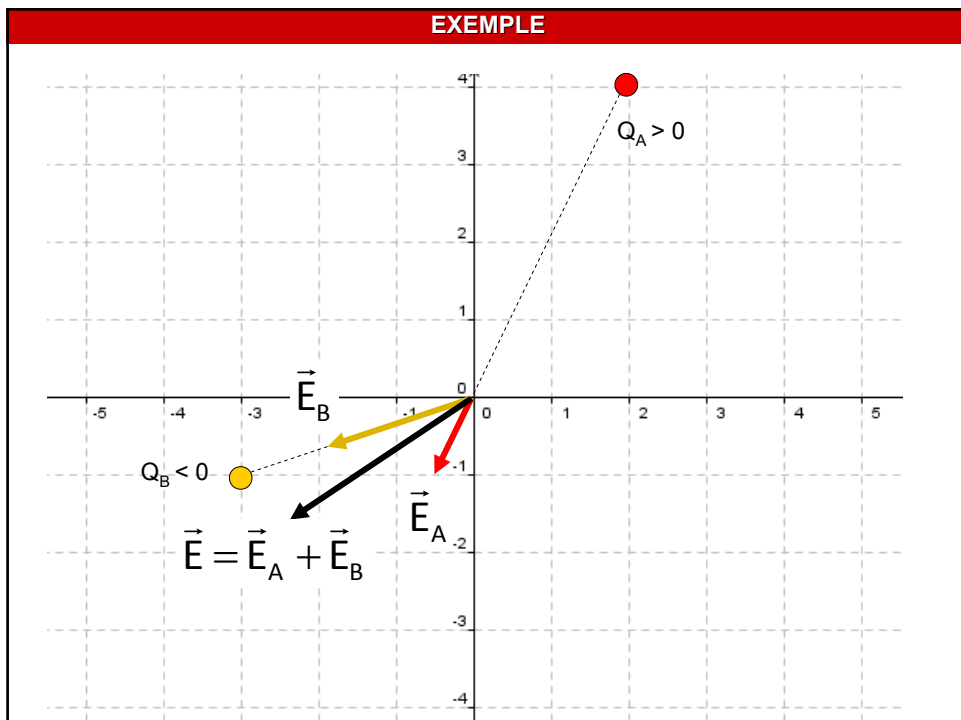
Quan dues o més càrregues es troben en una mateixa zona de l'espai cada una d'elles crea en tots els punts del seu voltant un camp elèctric, com el que hem definit anteriorment. Però en un punt de l'espai només pot existir un sol camp elèctric. Aquest camp és la superposició dels camps creat de forma individual per cada una de les càrregues.

$$\vec{E}_T = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$$

EXEMPLE

Dues càrregues elèctriques $Q_A = +3 \mu\text{C}$ i $Q_B = -3 \mu\text{C}$ es troben situades en els punts A(2,4) i B(-3,-1). Determineu el camp total en el punt C(0,0).

EXEMPLE



EXEMPLE

$$\begin{aligned}\vec{u}_{rA} &= \frac{\vec{r}_0 - \vec{r}_{QA}}{|\vec{r}_0 - \vec{r}_{QA}|} = \frac{(0,0) - (2,4)}{|(0,0) - (2,4)|} \\ &= \frac{(0,0) - (2,4)}{|(0,0) - (2,4)|} = \frac{(-2,-4)}{\sqrt{(-2)^2 + (-4)^2}} \\ &= \frac{(-2,-4)}{\sqrt{20}} = \left(\frac{-2}{\sqrt{20}}, \frac{-4}{\sqrt{20}} \right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\vec{u}_{rB} &= \frac{\vec{r}_0 - \vec{r}_{QB}}{|\vec{r}_0 - \vec{r}_{QB}|} = \frac{(0,0) - (-3,-1)}{|(0,0) - (-3,-1)|} = \\ &= \frac{(0,0) - (-3,-1)}{|(0,0) - (-3,-1)|} = \frac{(3,1)}{\sqrt{3^2 + 1^2}} \\ &= \frac{(3,1)}{\sqrt{10}} = \left(\frac{3}{\sqrt{10}}, \frac{1}{\sqrt{10}} \right)\end{aligned}$$

$$\vec{E}_A = K \frac{Q_A}{r_A^2} \vec{u}_{rA} = 9 \cdot 10^{+9} \cdot \frac{+3 \cdot 10^{-6}}{20} \cdot \left(\frac{-2}{\sqrt{20}}, \frac{-4}{\sqrt{20}} \right) = (-603'74, -1207'48) \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_B = K \frac{Q_B}{r_B^2} \vec{u}_{rB} = 9 \cdot 10^{+9} \cdot \frac{-3 \cdot 10^{-6}}{10} \cdot \left(\frac{3}{\sqrt{10}}, \frac{1}{\sqrt{10}} \right) = (-2561'44, -853'81) \text{ N/C}$$

$$\begin{aligned}\vec{E} &= \vec{E}_A + \vec{E}_B = (-603'74, -1207'48) + (-2561'44, -853'81) = \\ &= (-3165'18, -2061'29) \text{ N/C} \rightarrow E = 3.777'21 \text{ N/C}\end{aligned}$$

5. La llei de coulomb

Quan una partícula elèctrica se situa dins d'un camp elèctric sentirà l'acció d'una força que és la resposta a la interacció del camp amb la càrrega. L'expressió que relaciona Q, E i F és:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Quan dues càrregues se situen una al costat de l'altre la interacció mútua dels respectius camps i de les càrregues crearà forces sobre elles iguals i contràries (3ª llei de Newton)

$$\vec{F}_{12} = Q_1 \cdot \vec{E}_2 = Q_1 \cdot K \frac{Q_2}{r^2} \vec{u}_r \quad \vec{F}_{21} = Q_2 \cdot \vec{E}_1 = Q_2 \cdot K \frac{Q_1}{r^2} \vec{u}_r$$

Veiem això amb més claredat

$Q_1 > 0$ $Q_2 < 0$

$$\vec{E}_1 = K \frac{Q_1}{r^2} \vec{u}_r$$

$$\vec{F}_{12} = Q_2 \cdot \vec{E}_1 \longrightarrow \vec{F}_{12} = Q_2 \cdot \left(K \frac{Q_1}{r^2} \cdot \vec{u}_r \right) \longrightarrow \vec{F}_{12} = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \cdot \vec{u}_r$$

$$\vec{E}_2 = K \frac{Q_2}{r^2} \vec{u}'_r$$

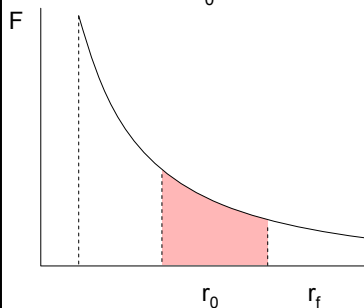
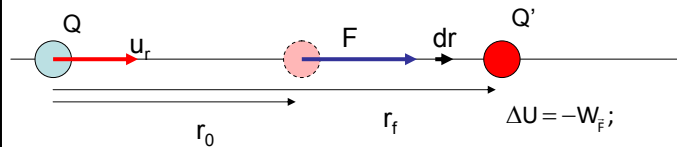
$$\vec{F}_{21} = Q_1 \cdot \vec{E}_2 \longrightarrow \vec{F}_{21} = Q_1 \cdot \left(K \frac{Q_2}{r^2} \cdot \vec{u}'_r \right) \longrightarrow \vec{F}_{21} = K \frac{Q_2 \cdot Q_1}{r^2} \cdot \vec{u}'_r$$

$\vec{u}_r = -\vec{u}'_r$ $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}|$ $\vec{F} = K \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \vec{u}_r$

5. Energia potencial elèctrica

La força provocada per dues càrregues elèctriques és una força conservativa ja que la seva expressió depèn de la posició i a més és una força central. Així doncs podem definir una funció energia potencial associada a la força de Coulomb.



$$W_{\vec{F}} = \int_{r_0}^{r_f} \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int_{r_0}^{r_f} K \frac{Q \cdot Q'}{r^2} \cdot \vec{u}_r \cdot d\vec{r} =$$

$$K \cdot Q \cdot Q' \cdot \int_{r_0}^{r_f} \frac{1}{r^2} dr = K \cdot Q \cdot Q' \cdot \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_0}^{r_f} =$$

$$K \cdot Q \cdot Q' \cdot \left[-\frac{1}{r_f} + \frac{1}{r_0} \right] = -K \cdot Q \cdot Q' \cdot \left[\frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_0} \right]$$

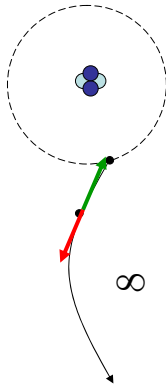
$$\Delta U = -W_{\vec{F}} \rightarrow U_f - U_0 = - \left(-K \cdot Q \cdot Q' \cdot \left[\frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_0} \right] \right)$$

$$U_f - U_0 = K \cdot Q \cdot Q' \cdot \left(\frac{1}{r_f} - \frac{1}{r_0} \right) \rightarrow U = K \frac{Q \cdot Q'}{r}$$

EXEMPLE

Un electró gira al voltant d'un ió d'heli (He⁺) descrivint òrbites circulars de radi 0,25 Å. Calculeu el treball mínim que cal fer per portar l'electró des de la seva posició inicial fins a l'infinit (energia d'ionització).

Dades: $Q_{p^+} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $Q_{e^-} = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$; $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$



El treball mínim s'aconsegueix portant l'electró fins l'infinit fins que la seva energia mecànica sigui zero.

$$\vec{F}_e + \vec{F} = 0 \rightarrow \vec{F} : \text{força no conservativa}$$

$$W_F = \Delta E_m \rightarrow W_F = E_{m_f} - E_{m_0} \rightarrow W_F = 0 - \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 - K \cdot \frac{Q_n \cdot Q_e}{R}$$

$$W_F = -\frac{1}{2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot v^2 - 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19}) \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19})}{0,25 \cdot 10^{-10}}$$

$$E_{m_f} = E_{Cf} + U_f = 0 + 0 = 0$$

$$E_{m_0} = E_c + U_o = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v^2 + K \cdot \frac{Q_n \cdot Q_e}{R}$$

EXEMPLE

$$|F_e| = m \cdot a_c \rightarrow a_c = \frac{|F_e|}{m} \rightarrow \frac{v^2}{R} = \frac{|F_e|}{m}$$

$$v^2 = R \cdot \frac{|F_e|}{m} = R \cdot \frac{K \cdot \frac{Q_n \cdot |Q_e|}{R^2}}{m} = \frac{K \cdot Q_n \cdot |Q_e|}{m \cdot R}$$

$$v^2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 0,25 \cdot 10^{-10}} = 4.500.549'42 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$W_F = -\frac{1}{2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (2,026 \cdot 10^{13})^2 - 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19}) \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19})}{0,25 \cdot 10^{-10}} =$$

$$W_F = -9,216 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$W_F = -9,216 \cdot 10^{-18} \text{ J} \times \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 57,6 \text{ eV}$$

6. Potencial elèctric

Com hem vist la força entre dues càrregues elèctriques ve donada pel producte entre la càrrega i el camp elèctric.

De forma anàloga podem fer el mateix amb l'energia potencial elèctrica.

$$\vec{F} = K \frac{QQ'}{r^2} \vec{u}_r = Q \cdot \left(K \frac{Q'}{r^2} \vec{u}_r \right) = Q \cdot \vec{E}'$$
$$U = K \frac{Q \cdot Q'}{r} = Q \cdot \left(K \cdot \frac{Q'}{r} \right) = Q \cdot V'$$

Veiem que el terme que apareix entre parèntesis el designem amb la lletra **V**. Aquest terme s'anomena **potencial elèctric**. El potencial elèctric és una magnitud molt útil ja que ens permetrà resoldre problemes amb major facilitat. El potencial elèctric es mesura en volts ($[V] = 1J/C = 1V$).

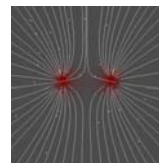
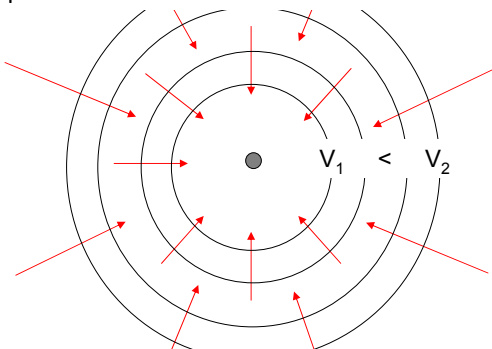
En resum el potencial elèctric i el camp elèctric són dues magnituds que estan íntimament relacionades. Qualsevol càrrega elèctrica crea en els punts de l'espai dues pertorbacions el camp elèctric i el potencial elèctric de forma simultània.

6. Relació entre el potencial i el camp elèctric.

El treball mecànic que exerceix la força **F** sobre una càrrega elèctrica es pot calcular de dues formes.

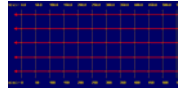
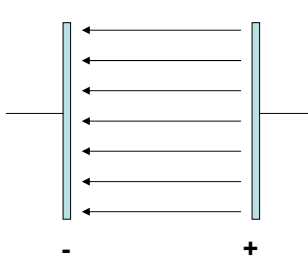
$$\left. \begin{array}{l} dW_{\vec{F}} = \vec{F} \cdot d\vec{r} \\ dW_{\vec{F}} = -dU \end{array} \right\} \Rightarrow \vec{F} \cdot d\vec{r} = -dU \Rightarrow q \cdot \vec{E} \cdot d\vec{r} = -q \cdot dV \Rightarrow -\vec{E} \cdot d\vec{r} = dV$$

De l'equació anterior deduïm que si ens movem en el sentit del camp elèctric el potencial elèctric disminueix i que si ens movem perpendicularment al camp el potencial no canvia.



6. Condensadors.

Un condensador és un component electrònic format per dues plaques paral·leles carregades oposadament. Normalment parlarem de plaques planes. En aquest cas entre les plaques es forma un camp electrostàtic uniforme. EL camp va de la placa positiva a la negativa i en ell les superfícies equipotencials són planoparal·leles.



La relació entre el camp i el potencial en el seu interior ve donat per l'equació següent

$$-\vec{E} \cdot \Delta \vec{r} = \Delta V$$

On E és uniforme i on té un valor: $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ On $\sigma = Q/S$ (densitat de càrrega)

7. Capacitat i energia d'un condensador.

Es defineix capacitat d'un condensador C a:

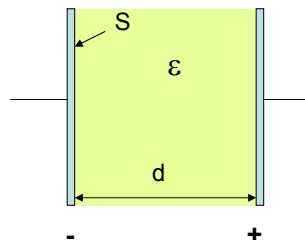
$$C = \frac{Q}{V}$$

On Q és la càrrega que pot emmagatzemar la placa + i V la d.d.p entre plaques. L'unitat de la capacitat és el Farad.

$$[C] = \frac{1C}{1V} = 1F$$

En el cas d'un condensador de làmines planoparal·leles, la capacitat C ve donada per:

$$C = \frac{\epsilon S}{d}$$



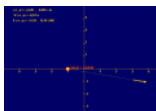
Si el condensador és esfèric: $C = \frac{R}{K}$



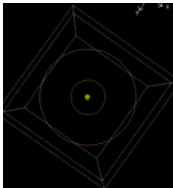
ACTIVITATS

LLIBRE DE TEXT	ACTIVITATS	MOODLE	ACTIVITATS
-PG. 104	1	FULL 1	Totes
-PG. 107	4, 5, 6		
-PG. 110	7, 9		
-PG. 122	18, 20		
-PG. 123	23, 24		
-PG. 129	30		
-PG. 130	31, 32		
-PG. 134	3, 4, 5, 7, 9, 10, 11		
-PG. 135	16, 20, 21, 29		

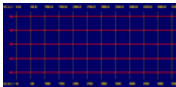
ÍNDEX D'APPLETS



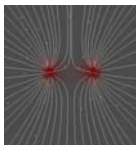
<http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/2-2Electrostatica/2-Electrostatica-Applets/EyVpq/EyVpq.htm>



http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/2-3Magnetismo/Electromagnetismo-Applets/Campos_I/3-D%20Electrostatic%20Field%20Simulation.htm



<http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/2-2Electrostatica/2-Electrostatica-Applets/trabajocampovpotencial/trabajovenerq%C3%ADapotencial.htm>



http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/lentiscal/2-CD-Fiisca-TIC/2-3Magnetismo/Electromagnetismo-Applets/Campos_II/2-D%20Electrostatic%20Field%20Simulation.htm