Camp elèctric

En aquesta unitat estudiarem la càrrega elèctrica (Q), que és una propietat fonamental associada a les partícules subatòmiques que segueix la llei de conservació (en tot procés elèctric, la càrrega elèctrica es conserva) i determina el seu comportament davant les interaccions electromagnètiques.

Totes les partícules conegudes tenen càrregues elèctriques, les quals s'expressen quantitzades com múltiples de **la càrrega de l'electró *e***, que **és la càrrega elemental**:

→ Els protons tenen càrrega + *e*.

→ Els neutrons tenen càrrega zero (són elèctricament neutres).

→ Els quarks tenen càrregues fraccionàries de $e/3$ i $2e/3$. Tanmateix, els quarks mai es presenten sols a la natura, sinó formant combinacions de càrregues enteres.

Clàssicament, donades dues partícules en repòs amb càrregues $|Q_1|$ i $|Q_2|$, separades una distància *r*, aquestes s'atreuen mútuament amb una força $|\vec{F}|$ que ve donada per la ***llei de Coulomb***, que estableix que el **mòdul de la força d'atracció o repulsió** és directament proporcional a la magnitud de les càrregues i inversament proporcional al quadrat de la distància que les separa. ***En el buit***:

$$|\vec{F}| = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{|\vec{r}|^2} = \mathrm{K} \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{|\vec{r}|^2} \Rightarrow \mathrm{K} = 9 \cdot 10^9 \ \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

El **vector força d'atracció o repulsió** entre dues càrregues que estiguin en el buit es calcularà amb la fórmula:

$$\vec{F} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{|\vec{r}|^2} \cdot \vec{u} = \mathrm{K} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{|\vec{r}|^2} \cdot \vec{u}$$

Si no estem en el buit, l'expressió que es fa servir per calcular el **mòdul de la força que exerceixen dues partícules elèctricament carregades entre elles** és la següent:

$$|\vec{F}| = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{|\vec{r}|^2}$$

→ ε és la **permitivitat del medi** en el que es trobin les càrregues. Es tracta de la proporció D/E, on D és el desplaçament elèctric en coulombs per metre quadrat (C/m^2) i E és la força de camp elèctric mesurada en vols per metre (V/m). Es mesura en farads per metre (F/m). També pot ser definida com una adimensional **permitivitat relativa**, o **constant dielèctrica**, normalitzada segons la **permitivitat del buit** $\varepsilon_0 = 8{,}85419 \ 10^{-12}$ F/m :

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$$

Sabent això i prenent la fórmula anterior, podem trobar una ***segona fórmula per calcular la el mòdul de la força que s'exerceixen dues partícules elèctricament carregades quan es troben en algun medi***:

$$|\vec{F}| = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{|\vec{r}|^2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r} \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{|\vec{r}|^2} = \frac{K}{\varepsilon_r} \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{|\vec{r}|^2}$$

El **vector força d'atracció o repulsió** entre dues càrregues que no estiguin en el buit es calcularà amb la fórmula:

$$\vec{F} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{|\vec{r}|^2} \cdot \vec{u} \qquad \vec{F} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{|\vec{r}|^2} \cdot \vec{u} = \frac{K}{\varepsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{|\vec{r}|^2} \cdot \vec{u}$$

El camp elèctric (Clica AQUÍ i fes-ho amb el titol a continuació)

Parlarem ara del ***camp elèctric***, un concepte introduït per Michael Faraday, que en física és el camp generat per un objecte carregat elèctricament que genera una força que actua sobre d'altres objectes també carregats elèctricament. Són, en definitiva, vectors que tenen una magnitud i una direcció.

En unitats del SI s'expressa en newton per coulomb ($N \cdot C^{-1}$) o, de manera equivalent, en volt per metre ($V \cdot m^{-1}$).

De camps hi ha de dos tipus:

A. *Camp uniforme*: camp en el que tota la regió de l'espai té la mateixa magnitud i direcció.

B. *Camp no uniforme.*

Per *calcular el mòdul del camp elèctric* tenim dues fórmules a la nostra disposició:

$$|\vec{E}| = \frac{|\vec{F}|}{|Q_p|}$$

O bé

$$|\vec{E}| = \frac{|\vec{F}|}{|Q_p|} = \frac{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r} \cdot \frac{|Q| \cdot |Q_p|}{|\vec{r}|^2}}{|Q_p|} = \frac{\frac{|Q| \cdot |Q_p|}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot |\vec{r}|^2}}{|Q_p|} = \frac{|Q|}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot |\vec{r}|^2} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r} \cdot \frac{|Q|}{|\vec{r}|^2}$$

Per *esbrinar quin és el camp elèctric* *(VECTOR)* tenim dues fórmules a la nostra disposició:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_p} \cdot \vec{u}$$

O bé

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_p} \cdot \vec{u} = \frac{\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r} \cdot \frac{Q \cdot Q_p}{|\vec{r}|^2}}{Q_p} \cdot \vec{u} = \frac{\frac{Q \cdot Q_p}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot |\vec{r}|^2}}{Q_p} \cdot \vec{u} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot |\vec{r}|^2} \cdot \vec{u} =$$

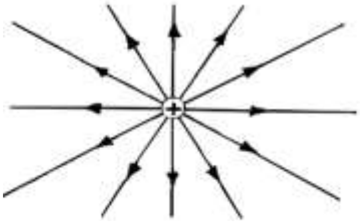
$$= \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r} \cdot \frac{Q}{|\vec{r}|^2} \cdot \vec{u}$$

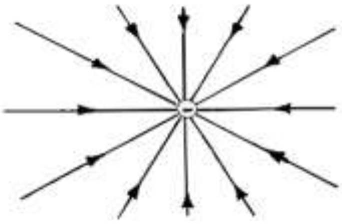
És necessàri tenir clars un seguit de conceptes com les línies de camp, les línies de força o les superfícies equipotencials, entre d'altres.

Definirem ***línia de camp*** com aquelles línies dirigides en el sentit del camp en cada punt de les quals la direcció serà tangent a les línies de força. Aquestes línies ens indicaran cap a on anirà la força quan hi col·loquem una càrga en un punt determinat.

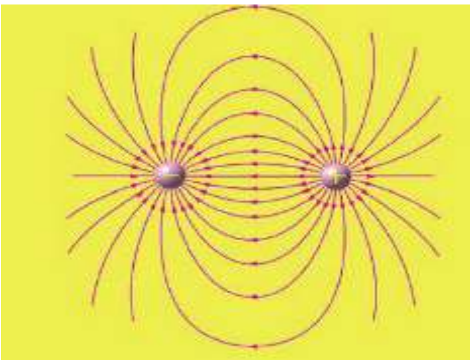
→ *Per a una càrrega positiva* **(Mira AQUÍ)** les línies de camp elèctric surten de la càrrega.

→ *Per a una càrrega negativa* **(Mira AQUÍ)** les línies de camp elèctric entren cap a la càrrega o hi van dirigides.

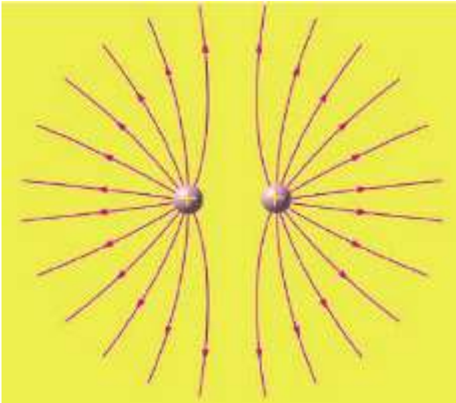




Les línies de camp surten de les càrregues positives i van cap a les negatives **(Mira AQUÍ):**

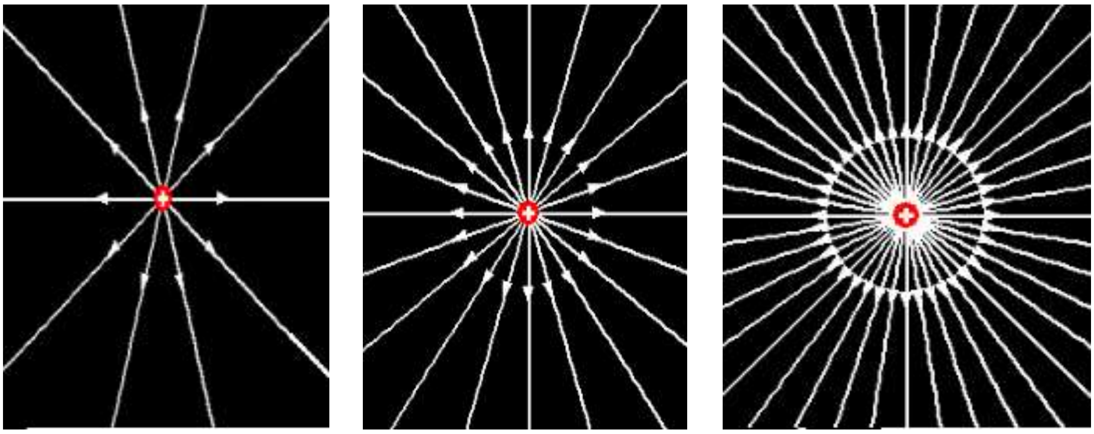


Les **línies de camp entre dues càrregues del mateix signe i iguals** es trencaran a causa de l'atracció entre aquestes càrregues**. (Mira AQUÍ)**



La **separació entre una línia de camp i una altra** en dóna informació sobre la intensitat de camp generada per la càrrega a la qual van dirigides o de la qual surten:

- *Molta separació* ens indica que aquesta intensitat elèctrica és baixa.
- *Poca separació* ens indica que la intensitat de camp elèctric és elevada.



Q_1 Q_2 Q_3

$Q_1 < Q_2 < Q_3$ i, per tant, la intensitat de camp generada per Q_1 serà menor a la generada per Q_2 i molt menor a la generada per Q_3.

Arriba l'hora de relaxar-se una mica de magnituds vectorials i estudiar-ne una que no ho es: el ***potencial elèctric (V)*** **(Mira AQUÍ)** Aquesta magnitud escalar la definirem com el treball fet per forces externes per portar una càrrega d'1C des de l'∞, entés com un punt suficientment distant com perquè el camp elèctric generat per una càrrega puntual determinada no es noti, fins a aquesta càrrega puntual. La seva unitat al sistema internacional és el volt (V).

Donada la situació següent:

Q **x A** ∞

$V_A = W_{\substack{\text{Forces externes} \\ A \rightarrow \infty \\ 1C}}$ o bé $V_A = -\, W_{\substack{\text{Força elèctrica} \\ A \rightarrow \infty \\ 1C}}$

I quina és la fórmula de potencial elèctric?

$$V_A = W_{\substack{\text{Forces externes} \\ A \rightarrow \infty \\ 1C}} = \int_{\infty}^{A} \vec{F} \cdot d\vec{r} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{|\vec{r}|}$$

Amb aquesta fórmula, no és dificil arribar a la conclusió de que **càrregues puntuals i positives portaran un potencial positiu i càrregues puntuals i negatives el portaran negatiu**.

Exemple (en el buit):

Determina el potencial necessàri per portar una càrrega d'1C des de l' infinit físic fins a A si la distància entre A i una càrrega puntual de 2nC és de 2m.

Q **x A** ∞

$\underbrace{\qquad\qquad\qquad}_{2m}$

$$V_A = W_{\substack{\text{Forces externes} \\ A \rightarrow \infty \\ 1C}} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{|\vec{r}|} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{2\,.\,10^{-9}\,C}{2m} = \frac{9 \cdot 10^{9}\,\frac{N \cdot m^2}{C^2} \cdot 2\,.\,10^{-9}\,C}{2m} = \mathbf{9V}$$

Ara bé, és molt probable que no sempre haguem demoure una càrrega d'1C. Si això ens passa, la fórmula variarà i passarà a emprar-se per calcular l'***energia potencial*** (Q' ≠ 1C):

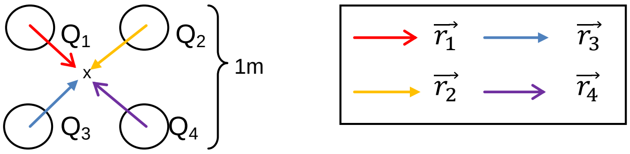
$$W_{\substack{\text{Forces externes} \\ A \rightarrow \infty \\ Q'}} = \Delta V = \int_{\infty}^{A} \vec{F} \cdot d\vec{r} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{|\vec{r}|} \cdot Q' = E_p$$

Definirem energia potencial com el valor del treball realitzat per les forces externes per tal de transportar una càrrega Q' de valor arbitrari i diferent a 1C des de l'infinit físic al punt A.

En el cas que no sigui una única càrga la que estigui exercint un camp elèctric determinat (***distribució de càrregues***), calcularem el potencial elèctric individual de cadascuna d'elles i farem el sumatori dels resultats obtinguts per escribat el potencial total.

Exemple (en el buit):

Determia el potencial elèctric sobre P donada la distribució de càrregues elèctriques puntuals següents:



1. $V_1 = W_{\text{Forces externes}} = \frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{|\vec{r_1}|} = \frac{9\cdot 10^9\,\frac{N\cdot m^2}{C^2}\,(-10^{-9}\,C)}{\sqrt{0'5^2+0'5^2}}$ = **- 12'68V**

2. $V_2 = W_{\text{Forces externes}} = \frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{|\vec{r_2}|} = \frac{9\cdot 10^9\,\frac{N\cdot m^2}{C^2}\cdot 10^{-9}\,C}{\sqrt{0'5^2+0'5^2}}$ = **12'68V**

3. $V_3 = W_{\text{Forces externes}} = \frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{|\vec{r_3}|} = \frac{9\cdot 10^9\,\frac{N\cdot m^2}{C^2}\,(-10^{-9}\,C)}{\sqrt{0'5^2+0'5^2}}$ = **- 12'68V**

4. $V_4 = W_{\text{Forces externes}} = \frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{|\vec{r_4}|} = \frac{9\cdot 10^9\,\frac{N\cdot m^2}{C^2}\;x\;2\cdot 10^{-9}\,C}{\sqrt{0'5^2+0'5^2}}$ = **25'35V**

5. $V_T = \sum W_{\text{Forces externes}}$ = - 12'68V + 12'68V - 12'68V + 25'35V = **12'67V**

En el cas que el que volguem fer sigui moure una càrrega d'1C des d'un punt a un altre on cap dels dos es troben a l'∞ físic, com és el cas següent:

Haurem de calcular el que coneixem com ***diferència de potencial*** , que serà el treball realitzat per les forces externes per tal de portar una càrrega Q' = 1C que es troba al punt B fins el punt A:

$\Delta V = V_{Final} - V_{Inicial} = V_A - V_B = \frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{|\vec{r_A}|} - \frac{1}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\cdot\frac{Q}{|\vec{r_B}|} = \frac{1\cdot Q}{4\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}\left(\frac{1}{|\vec{r_A}|} - \frac{1}{|\vec{r_B}|}\right) =$

$= W_{\text{Forces externes}}$
A → ∞
1C

No sempre volguem mure una carga d'1C. Si això ens passa sols haurem de modificar la fórmula multiplicant-la per el valor d'aquesta càrga i obtindrem així, la fórmula de ***l'increment d'energia potencial***:

$$W_{\text{Forces externes}\ B \rightarrow A}^{Q'} = \Delta V \cdot Q = (V_A - V_B)\, Q' = \left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{|\overrightarrow{r_A}|} - \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q}{|\overrightarrow{r_B}|} \right) Q' =$$

$$= \frac{1 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \left(\frac{1}{|\overrightarrow{r_A}|} - \frac{1}{|\overrightarrow{r_B}|} \right) Q' = \Delta E$$

Hem de tenir presents un parell de **CONCEPTES CLAU**:

→ Una partícula lliure (que es deixi anar) i positiva, es mourà sempre en el sentit del camp elèctric i cap a potencials més baixos.

→ Una partícula lliure i negativa, es mourà sempre en el sentit contrari del camp elèctric i cap a potencials més elevats.

→ Si $E_p > 0$ ens trobarem davant d'un sistema lligat i, per tant, estable.

→ Si $E_p < 0$ ens trobarem davant d'un sistema deslligar i, per tant, inestable.