

Cours d'électricité

ELECTROSTATIQUE DANS LE VIDE

Loi de Coulomb et forces électrostatiques

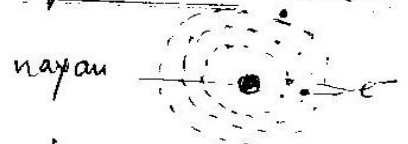
L'électrostatique étudie les interactions électrostatiques entre les charges immobiles (statiques) maintenues fixes dans un milieu de référence donnée.

I: Introduction:

1°/ Constitution électronique de la matière.

La matière est constituée d'un ensemble d'atomes ou molécules.

Un atome est formé d'un noyau contenant des protons chargés positifs et des neutrons de charge neutre et des e^- de charges négatives.



Remarque: si un électron manque (ou rajouté) on a alors un ion.

Les phénomènes électriques peuvent être interprétés dans la plupart des états car à l'aide des trois particules élémentaires: e^- , p et n .

$$e^- \begin{cases} \text{charge négative} \\ q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -e \\ m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \end{cases}$$

$$p \begin{cases} \text{charge positive} \\ q_p = e \\ m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \end{cases}$$

$$n \begin{cases} \text{neutre} \\ q_n = 0 \\ m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \end{cases}$$

L'état électrique de la matière est caractérisé donc par ce qu'on appelle : charge électrique.

La charge électrique est une quantité scalaire qui peut être positive, neutre ou neutre. C'est une grandeur physique qui s'exprime en Coulomb "C"

dans le système international (MKSA)

Elle n'existe qu'en quantité discrètes. Elle est donc quantifiée : $q = \pm ne$

On distingue deux type de charges électriques :

- charges positives
- charges négatives

L'expérience a montré que :

- les charges de même signe se repoussent.
- les charges de signe contraires s'attirent.

2° Distribution de charges :

a) charge ponctuelles :

Une charge ponctuelle si le volume du corps chargé est infiniment petit par rapport aux distance considérées.

C'est l'équivalent du point matériel en mécanique.

b) Distribution de charge continue :

On dit un volume τ une distribution continue de charge Q

Si toute élément

de volume élémentaire $d\tau$ de τ porte une charge élémentaire dq



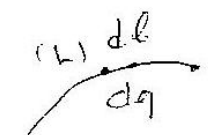
Une telle distribution est dite volumique et le rapport $\rho = \frac{dq}{d\tau}$ est appelé densité de charge volumique.

La charge Q du volume τ est

$$dq = \rho d\tau \Rightarrow Q = \iiint_{\tau} \rho d\tau$$

* Si Q est répartie sur une surface S  (dS)
 La distribution est dite surfacique le rapport
 $\sigma = \frac{dq}{dS}$ est appelé la densité de charge surfaciques

$$Q \text{ est } Q = \int_S dq \quad \left\{ Q = \iint_S \sigma dS \right\}$$

* Si Q est répartie sur une ligne (L) 
 La distribution est dite linéique le rapport
 $\lambda = \frac{dq}{dl}$ est appelé la densité de charge linéique
 de charges $Q : Q = \int_L \lambda dl$

Remarque : Si la densité de charges (volumique, surfacique ou linéique) est constante la distribution de charge est dite uniforme et le corps est dite uniformément chargé.

II Loi de Coulomb et forces électrostatiques (1785)

I. Formalisme :

On considère deux charge ponctuelles q_1 et q_2 (on suppose : toute les deux de même signe) placés à une distance r

L'un de l'autre aux points A et B
 La charge q_2 en B est soumise à une force f_{12} exercée par la charge q_1 . Cette force est dirigée suivant le vecteur $\vec{u}_{12}$.

$$\vec{f}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{12}$$

De même la charge q_2 exerce une force f_{21} sur la charge q_1

$$\vec{f}_{21} = k \frac{q_2 q_1}{r^2} \vec{u}_{21}$$

D'après le principe de l'action et réaction les deux forces sont égales et opposées.

• Énoncé de la loi de Coulomb.

Deux charges électriques ponctuelles exercent sur l'autre une force dirigée selon la direction qui les joint, proportionnelle à chacune des deux charges et inversement proportionnelle au carré de leur distance.

Dans l'expression des forces :

- La valeur de $k = 9 \cdot 10^9 \text{ (Nm}^2/\text{C}^2\text{)}$

Elle s'exprime souvent sous la forme $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ou ϵ_0 la permittivité dans le vide

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8,85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} \right]$$

- La distance r et les charges q_1 et q_2 s'expriment respectivement en m et C (Coulomb). L'unité de la force est le Newton, "N".

2 Principe de superposition.

a) Distribution des continues de charge.

Soient n charges $q_1, q_2, \dots, q_n$ placées dans le vide

La force résultante $\vec{F}$ exercée par ces charges sur une charge q_0 placée dans le même milieu

→ les forces exercées par $q_1, q_2, \dots, q_n$ sur q_0 sont $\vec{F}_{10}, \vec{F}_{20}, \dots, \vec{F}_{n0}$

$$\vec{F}_{10} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_0}{r_{10}^2} \vec{u}_{10}$$

$$\vec{F}_{20} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_0}{r_{20}^2} \vec{u}_{20}$$

$$\vec{F}_{n0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_n q_0}{r_{n0}^2} \vec{u}_{n0}$$

La résultante $\vec{F}$ est la somme des forces $\vec{F}_{10}, \vec{F}_{20}, \dots, \vec{F}_{n0}$

$$\vec{F} = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_{i0}^2} \vec{u}_{i0}$$

avec $r_{10} = r_1, r_{20} = r_2, \dots, r_{n0} = r_n$

$$\vec{u}_{10} = \vec{u}_1, \vec{u}_{20} = \vec{u}_2, \dots, \vec{u}_{n0} = \vec{u}_n$$

b) distributions continues de charges :

a) Distributions linéiques :

Soit un fil conducteur
uniformément chargé de
densité linéique λ

La force élémentaire $d\vec{F}$ exercée un élémentaire dl
du fil contenant la charge dq considérée comme une
charge ponctuelle, sur une charge q_0 est :

$$d\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 dq}{r^2} \vec{u} \quad \text{avec } dq = \lambda dl$$

La force totale $\vec{F}$ exercée par le conducteur
AB sur la charge q_0 est :

$$\vec{F} = \int_A^B d\vec{F} = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \int_A^B \frac{\lambda dl}{r^2} \vec{u}$$

or $\lambda = G\epsilon$

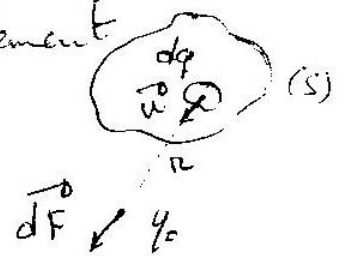
$$\vec{F} = \frac{\lambda q_0}{4\pi\epsilon_0} \int_A^B \frac{dl}{r^2} \vec{u}$$

B) Distribution surfacique :

même raisonnement que précédemment

$$dF = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 dq}{r^2} u$$

$$\text{avec } dq = \sigma ds$$



La force totale est $\vec{F}^0 = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \iint \frac{\sigma dS}{r^2} \vec{u}$

↳ distribution volumique

$$d\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 dq}{r^2} \vec{u}$$

avec $dq = \rho d\tau$

La force totale $\vec{F}^0$:

$$\vec{F}^0 = \frac{q_0}{4\pi\epsilon_0} \iiint \frac{\rho d\tau}{r^2} \vec{u}$$

