

CHAPITRE 1

CHARGE ET FORCE ELECTRIQUES

INTRODUCTION

Quiconque a déjà vécu l'expérience désagréable d'une « décharge électrique » lors d'un contact avec un corps étranger connaît un effet électrostatique. Une autre manifestation de l'électricité statique consiste en l'attraction de petits corps légers (bouts de papier par ex.) avec des corps frottés (règles, pour continuer sur le même ex.). Ce type de phénomène est même rapporté par Thalès de Milet, aux alentours de 600 av. J.-C. : il avait observé l'attraction de brindilles de paille par de l'ambre jaune frotté. Le mot électricité, qui désigne l'ensemble de ces manifestations, provient de « elektron », qui signifie ambre en grec. L'étude des phénomènes électriques s'est continuée jusqu'au XIXème siècle, où s'est élaborée la théorie unifiée des phénomènes électriques et magnétiques, appelée électromagnétisme. C'est à cette époque que le mot « statique » est apparu pour désigner les phénomènes faisant l'objet de ce cours. L'électrostatique est l'étude des interactions électriques des particules chargées immobiles (statiques).

1. RAPPELS

1.1 Constitutions de la matière

On explique l'ensemble des effets d'électricité statique par l'existence, au sein de la matière, de particules portant une charge électrique q , positive ou négative.

Matière → atomes.

1 atome → noyau + électrons.

1 noyau → Z protons + $(A-Z)$ neutrons (nucléons).

	Charge	Masse
Electron	$-e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$	$9,1 \cdot 10^{-31} kg$
Proton	$+e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$	$1,672 \cdot 10^{-27} kg$
Neutron	$0 C$	$1,675 \cdot 10^{-27} kg$

1.2 Charges électrique

- Il y a deux types de charge : positive et négative. Deux charges de même signe se repoussent et deux charges de signe contraire s'attirent.
- L'unité de la charge électrique est le Coulomb (C).

Cours Physique 2_KESSI Ferhat

- L'électrisation peut avoir lieu par frottement, contact, influence, compression (piézoélectricité) et chauffage (pyroélectricité).
- Les charges mobiles sont le plus souvent des électrons. En d'autres termes, la charge électrique est portée par la matière.
- L'électricité est capable, non seulement d'agir à distance (répulsion ou attraction), mais également de se déplacer d'un corps à un autre. Dans ce cas, c'est un transfert d'électrons.
- Toute charge Q est un multiple entier de la charge de l'électron : $Q = \pm n \cdot e$. On dit que la charge électrique est quantifiée.
- La charge électrique d'un système est une grandeur extensive et conservative, de plus elle est invariante par changement de référentiel. En d'autres termes, on ne peut ni la détruire ni l'engendrer, et ceci est valable quel que soit le référentiel.
- La charge totale d'un atome est nulle. Il comporte autant de charges positives (protons) que de charges négatives (électrons). En d'autres termes, il y a Z électrons et Z protons ($Ze - Ze = 0$).
- Si un électron est arraché (ou rajouté) à un atome, on a un ion positif (négatif).
- A l'échelle macroscopique, un matériau est constitué d'un grand nombre de charges électriques, mais celles-ci sont toutes compensées (même nombre d'électrons et de protons). Aux températures usuelles, la matière est électriquement neutre. En conséquence, lorsque des effets d'électricité statique se produisent, cela signifie qu'il y a eu un déplacement de charges, d'un matériau vers un autre : c'est ce que l'on appelle l'électrisation d'un corps. Ce sont ces charges, en excès ou en manque, en tout cas non compensées, qui sont responsables des effets électriques sur ce corps.
- Un corps est chargé positivement lorsqu'il possède un défaut d'électrons (il a perdu des électrons).
- Un corps est chargé négativement s'il possède un excès d'électrons (il a gagné des électrons).
- Un matériau est dit isolant (ou diélectrique) parfait si ses électrons sont fortement liés aux noyaux des atomes, il n'y a pas d'électrons libres. Lorsqu'une charge électrique est créée, elle ne peut pas se déplacer. En d'autres termes, les porteurs de charge non compensés ne peuvent se déplacer librement et restent localisés à l'endroit où ils ont été déposés (bois, verre, papier...).
- Dans un matériau conducteur parfait (liaison métallique), toute charge créée se répartit sur la surface. Les électrons libres permettent le déplacement de cette charge. En d'autres termes, lorsqu'il devient électrisé, les porteurs de charge non compensés peuvent se déplacer librement dans tout le volume occupé par le matériau.
- Les gaz sont formés de molécules neutres, ce sont des isolants. Les gaz ionisés sont des conducteurs.
- Des phénomènes d'électricité statique mettent en jeu des nanocoulombs (nC) voire des microcoulombs (μC), tandis que l'on peut rencontrer des charges de l'ordre du Coulomb en électrocinétique.

2. DISTRIBUTIONS DE CHARGES

2.1 Charge ponctuelle

Cours Physique 2_KESSI Ferhat

Dans cette approximation, les dimensions des charges sont négligeables par rapport aux distances entre elles et à la distance d'observation. Par exemple, les électrons peuvent être considérés comme des charges ponctuelles. Un ensemble de charges ponctuelles est dit aussi « distribution discrète ». Dans ce cas, la charge totale est la somme des charges ponctuelles :

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i$$

2.2 Distributions continues de charges :

En pratique, la notion de charges ponctuelle est rarement utilisable puisque nous sommes la plupart du temps amenés à considérer des matériaux comportant un nombre gigantesque de particules. C'est simplement dû au fait que l'on ne considère que des échelles spatiales très grandes devant les distances inter-particulaires, perdant ainsi toute possibilité de distinguer une particule de l'autre. Il est dans ce cas plus habile d'utiliser des distributions continues de charges. Il s'agit évidemment d'une approximation, permettant de remplacer une somme presque infinie par une intégrale. Tout se passe donc comme si on subdivisait la charge totale en charges élémentaires dq considérées comme ponctuelles. La charge totale est alors :

$$Q = \int dq$$

2.2.1 Distribution linéique :

Si deux des dimensions de la distribution sont négligeables devant la troisième, la charge Q peut être considérée comme répartie sur un fil de longueur L avec une densité linéique de charges :

$$\lambda = \frac{dq}{dl}$$

L'unité de λ est le C/m . La charge totale du fil est :

$$dq = \lambda dl \Rightarrow Q = \int dq = \int_L \lambda dl, \text{ si } \lambda = cste \Rightarrow Q = \lambda L$$

2.2.2 Distribution surfacique :

Lorsque l'une des dimensions de la distribution de charges est beaucoup plus petite que les deux autres (ex : un plan ou une sphère creuse), La charge Q peut être considérée comme répartie sur une surface avec une densité surfacique de charges:

$$\sigma = \frac{dq}{ds}$$

L'unité de λ est le C/m^2 . La charge totale sur la surface :

$$dq = \sigma ds \Rightarrow Q = \int dq = \iint_S \sigma ds, \text{ si } \lambda = cste \Rightarrow Q = \sigma S$$

2.2.3 Distribution volumique :

La charge Q est répartie dans un volume V avec une densité surfacique de charges:

$$\rho = \frac{dq}{dv}$$

L'unité de λ est le C/m^3 . La charge totale dans le volume :

$$dq = \rho dv \Rightarrow Q = \int dq = \iiint_V \rho dv, \text{ si } \lambda = cste \Rightarrow Q = \rho V$$

L'utilisation de l'une ou l'autre de ces trois expressions dépend de la géométrie de la distribution de charges considérée. Notons enfin que dans la majorité des cas, on considère des densités de charges uniformes (constante), c'est-à-dire, indépendante de la position.

3. LOI DE COULOMB

Deux charges ponctuelles q_1 et q_2 , placées à la distance $r = AB$, exercent l'une sur l'autre une force donnée par la loi de Coulomb :

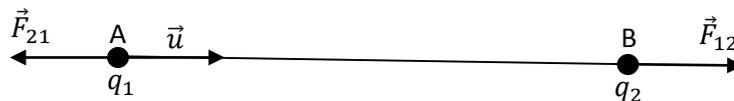
$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}$$

où \vec{F}_{12} est la force électrostatique qu'exerce la charge q_1 sur la charge q_2 , $r = \|\overline{AB}\|$, $\vec{u} = \frac{\overline{AB}}{\|\overline{AB}\|}$ est le vecteur unitaire porté par \overline{AB} et ϵ_0 est la permittivité diélectrique du vide telle que $1/4\pi\epsilon_0 = K = 9 \cdot 10^9 SI$.

D'après le principe d'actions et de réaction, la force électrostatique \vec{F}_{21} qu'exerce la charge q_2 sur la charge q_1 est telle que :

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

Si q_1 et q_2 sont de même signe, il y a répulsion :



Si q_1 et q_2 sont de signes contraires, il y a attraction :



Cours Physique 2_KESSI Ferhat

Pour calculer la force électrostatique exercée par un ensemble de charges ponctuelles $(q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n)$, placées aux points $(A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n)$, sur une charge ponctuelle q , placée en A , Il faut utiliser le principe de superposition qui stipule que :

Si une charge q_i exerce sur la charge q une force :

$$\vec{F}_i = K \frac{qq_i}{r_i^2} \vec{u}_i$$

Où $r_i = \|\overrightarrow{A_iA}\|$ et $\vec{u}_i = \overrightarrow{A_iA} / \|\overrightarrow{A_iA}\|$. La résultante des forces exercées sur q sera la somme des forces exercées par chaque charge q_i :

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = Kq \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \vec{u}_i$$

Ainsi, on pourrait penser que la force créée par une particule est modifiée par la présence des forces créées par des particules voisines. En fait, il n'en est rien et l'expérience montre que la force totale subie par une charge q située en A est simplement la superposition des forces élémentaires. Ce principe de superposition des effets électrostatiques est un fait d'expérience (comme tout principe, il n'est pas démontré).

4. EXEMPLES D'APPLICATION

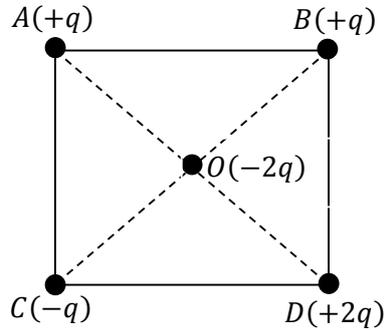
- Calculer la charge totale portée par un fil rectiligne de longueur L , chargé avec une densité λ constante.
- Calculer la charge totale portée par un fil circulaire de longueur L , chargé avec une densité λ constante.
- Calculer la charge totale portée par une plaque rectangulaire de longueur a et de largeur b , chargée avec une densité σ constante.
- Calculer la charge totale portée par une sphère de rayon R , chargée en surface avec une densité σ constante.
- Calculer la charge totale portée par une sphère de rayon R , chargée en volume avec une densité ρ constante.
- Calculer la charge totale portée par un cylindre de rayon R et de hauteur H , chargée en surface avec une densité σ constante.
- Calculer la charge totale portée par un cylindre de rayon R et de hauteur H , chargée en volume avec une densité ρ constante.
- Soit une sphère de rayon R dont la répartition des charges n'est pas uniforme :

$$\rho(r) = \rho_0 \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right)$$

Cours Physique 2_KESSI Ferhat

Calculer la charge totale de la sphère.

- Comparaison de la force électrostatique à la force d'attraction universelle entre deux électrons.
- Quatre charges ponctuelles sont placées aux sommets d'un carré de côté a :



Calculer la résultante des forces qu'exercent ces 04 charges sur une charge $(-2q)$ placée au centre O du carré. On suppose que $q > 0$.

Exercices à faire :

- 1- Calculer la résultante des forces exercées par les charges placées aux sommets A, B et C d'un triangle équilatérale de coté a sur une charge placée en son centre O .
- 2- Deux charges positives identiques de valeur $(+q)$ sont distantes de $2a$. Sur la médiatrice de la droite qui les joint, on place une troisième charge $(-q)$. Calculer la résultante des forces qui s'exercent sur cette charge. Quelle est la position de cette charge pour que cette résultante soit a) nulle b) maximale.

