

Charges et interactions électrostatiques

Séance 2 en distanciel – PHY104 : Electrostatique et Electrocinétique

Ing. Agbassou Guenoukpati, Département du Génie Electrique, ENSI, Université de Lome, Togo

2.1. Objectif du cours

Dans ce cours, vous apprendrez :

- à connaître l'origine des phénomènes électrostatiques ;
- à comprendre les structures de la matière ;
- à avoir les notions de base matériaux isolants et conducteurs

2.2. Phénomènes électrostatiques : notion de charge électrique

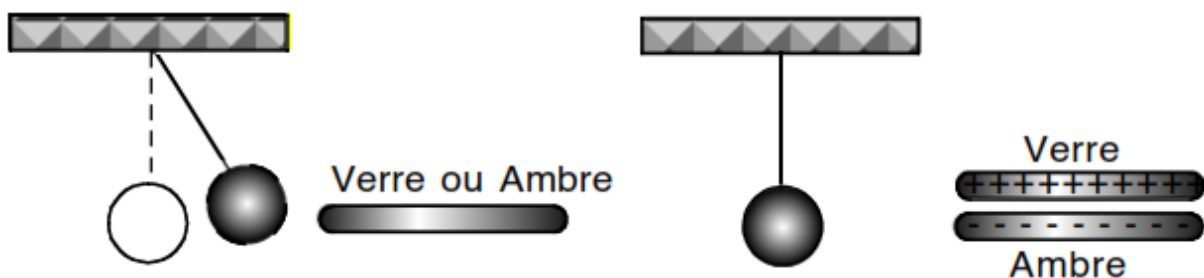
Les phénomènes d'électrisation de la matière se manifestent dans diverses situations de la vie quotidienne. Quiconque a déjà vécu l'expérience désagréable d'une « décharge électrique » lors d'un contact avec un corps étranger connaît (le toucher de la caracasse métallique d'une voiture ayant roulé par temps chaud, contact d'une armoire métallique placée dans une pièce sèche, et sec 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 dans l'antiquité 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 XIX^{ème} 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.

Pour les mettre en évidence et pour apporter une interprétation cohérente, regardons deux expériences simples

Expérience 1

Prenons une boule (faite de sureau ou de polystyrène, par ex.) et suspendons-la par un fil. Ensuite on approche une tige, de verre ou d'ambre, après l'avoir frottée préalablement : les deux tiges attirent la boule. Par contre, si l'on approche simultanément les deux tiges côte à côte, rien ne se passe.

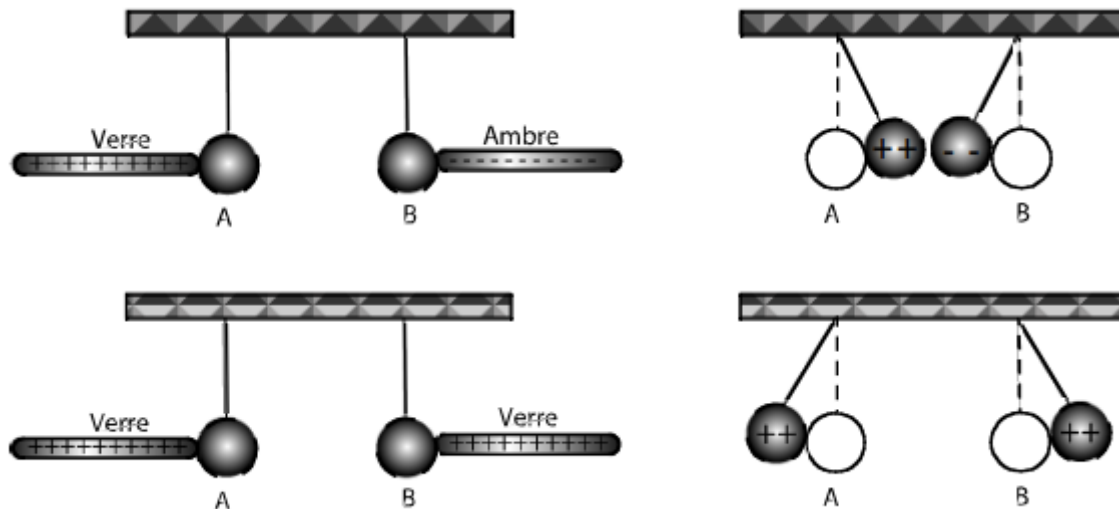


Tout se passe donc comme si chacune des tiges était, depuis son frottement, porteuse d'électricité, mais que celle-ci pouvait se manifester en deux états contraires (car capables d'annuler les effets de l'autre). On a ainsi qualifié arbitrairement de positive l'électricité contenue dans le verre (frotté avec de la soie), et de négative celle portée par l'ambre (idem, ou encore du plastique frotté avec de la fourrure).

Expérience 2

Prenons maintenant deux boules A et B, préalablement mises en contact avec une tige frottée (elles sont « électrisées »), et suspendons-les côte à côte. Si elles ont été mises en contact avec des tiges de matériau différent (ex. A avec du verre frotté et B avec de l'ambre frotté), alors elles s'attirent.

Si, du fait de leur attraction, elles viennent à se toucher, on observe qu'elles perdent alors toute électrisation : elles prennent une position d'équilibre vis-à-vis du leur poids



Par contre, si elles ont été mises en contact toutes deux avec une tige de même matériau, elles se repoussent.

Cette expérience est assez riche. On peut tout d'abord en conclure que deux corps portant une électricité de même nature (soit positive, soit négative) se repoussent, tandis qu'ils s'attirent s'ils portent des électricités contraires. Mais cette expérience nous montre également que cette électricité est capable, non seulement d'agir à distance (répulsion ou attraction), mais également de se déplacer d'un corps à un autre. Mais alors qu'est-ce qui se déplace ? Si l'on suspend les boules à une balance, même très précise, nous sommes incapables de détecter la moindre variation de poids entre le début de l'expérience et le moment où elles sont électrisées. Pourtant, le fait qu'il soit nécessaire qu'il y ait un contact entre deux matériaux pour que l'électricité puisse passer de l'un à l'autre, semble indiquer que cette électricité est portée par 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, et libres de se déplacer.

Expérience de la goutte d'huile de Millikan (à lire)

C'est Robert A. Millikan qui a vérifié pour la première fois en 1909, grâce à une expérience mettant en jeu des gouttes d'huile, le fait que toute charge électrique Q est quantifiée, c'est à dire qu'elle existe seulement sous forme de multiples d'une charge élémentaire e , indivisible ($Q=Ne$). La particule portant cette charge élémentaire est appelée l'électron.

Dans le système d'unités international, l'unité de la charge électrique est le Coulomb (symbole C). 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

L'ensemble des expériences de la physique (et en particulier celles décrites plus haut) ne peuvent s'expliquer que si la charge électrique élémentaire est un invariant : on ne peut ni la détruire ni l'engendrer, et ceci est valable quel que soit le référentiel. C'est ce que l'on décrit par la notion d'invariance relativiste de la charge électrique.

2.3. Structure de la matière

La vision moderne de la matière décrit celle-ci comme étant constituée d'atomes. Ceux-ci sont eux-mêmes constitués d'un noyau (découvert en 1911 par Rutherford) autour duquel « gravite » une sorte de nuage

composé d'électrons et portant l'essentiel de la masse. Ces électrons se repoussent les uns les autres mais restent confinés autour du noyau car celui-ci possède une charge électrique positive qui les attire. On attribue cette charge positive à des particules appelées protons. Cependant, le noyau atomique ne pourrait rester stable s'il n'était composé que de protons : ceux-ci ont en effet tendance à se repousser mutuellement. Il existe donc une autre sorte de particules, les neutrons découverts en 1932 par Chadwick) portant une charge électrique nulle. Les particules constituant le noyau atomique sont appelées les nucléons.

Dans le tableau de Mendeleïev tout élément chimique A_ZX est représenté par la notation : nombre A est appelé le nombre de masse : c'est le nombre total de nucléons (protons et neutrons). Le nombre Z est appelé le nombre atomique et est le nombre total de protons constituant le noyau. La charge électrique nucléaire totale est donc $Q = +Z \cdot e$, le cortège électronique possédant alors une charge totale $Q = -Z \cdot e$, assurant ainsi la neutralité électrique d'un atome. Le tableau 1 présente les valeurs des charges électriques et des masses des constituants atomiques dans le Système International.

Tableau1 : Caractéristiques des particules élémentaires

Particules	Symbole	Masse (kg)	Charge électrique (C)
Électron	e^-	$9,1 \cdot 10^{-31}$	$-1,6 \cdot 10^{-19}$
Proton	p	$1,672 \cdot 10^{-27}$	$1,6 \cdot 10^{-19}$
Neutron	n	$1,674 \cdot 10^{-27}$	0

Comme on peut le remarquer, même une charge de l'ordre du Coulomb (ce qui est énorme), correspondant à environ 10^{18} électrons, ne produit qu'un accroissement de poids de l'ordre de 10^{-12} kg c'est effectivement imperceptible.

Si les électrons sont bien des particules quasi-ponctuelles, les neutrons et les protons en revanche ont une taille non nulle (inférieure à 10^{-15} m). Il s'avère qu'ils sont eux-mêmes constitués de quarks, qui sont aujourd'hui, avec les électrons, les vraies briques élémentaires de la matière. Les protons ainsi que les neutrons forment ainsi une classe de particules appelée les baryons.

- la force nucléaire faible, responsable de la cohésion des baryons (quarks-quarks) ;
- la force nucléaire forte, responsable de la cohésion du noyau (protons-neutrons) ;
- la force électromagnétique, responsable de la cohésion de l'atome (électrons-nucléons) ;
- la force gravitationnelle, responsable de la structure à grande échelle de l'univers (cohésion des corps astrophysiques, cohésion des systèmes planétaires, des galaxies, des amas galactiques, moteur de la cosmologie).

2.3.1. Les divers états de la matière

La cohésion de la matière est due à l'interaction entre ses constituants, interaction mettant en jeu une énergie de liaison. Or, chaque constituant (atome ou molécule) possède lui-même de l'énergie cinétique liée à sa température (énergie d'agitation thermique). La rigidité d'un état particulier de la matière dépend donc de l'importance relative de ces deux énergies (cinétique et liaison).

Si l'on prend un gaz constitué d'atomes (ou de molécules) neutres, alors l'interaction entre deux constituants est assez faible : elle ne se produit que lorsqu'ils sont assez proches pour qu'il y ait répulsion entre les électrons périphériques. Ainsi, chaque atome est relativement libre de se déplacer dans l'espace, au gré des « collisions » avec d'autres atomes.

Si l'on refroidit ce gaz, certaines liaisons électrostatiques qui étaient négligeables auparavant peuvent devenir opérantes et l'on obtient alors un liquide. Si l'on chauffe ce gaz, de l'énergie est fournie à ses constituants, les molécules se brisent et, si l'on continue à chauffer, on peut même libérer un ou plusieurs électrons périphériques des atomes, produisant ainsi un gaz d'ions ou plasma.

Dans un solide au contraire, les liaisons entre chaque atome sont beaucoup plus fortes et les atomes ne bougent quasiment pas, formant un cristal. La force de cette cohésion dépend beaucoup d'un solide à l'autre. Ainsi, elle est très puissante si les atomes mettent en commun leur cortège électronique (liaison covalente comme pour le diamant et liaison métallique, comme pour le Cuivre) et beaucoup plus faible si les cortèges électroniques de chaque atome restent intouchés (liaison ionique, comme pour le sel)

Enfin, la matière molle (caoutchouc, plastiques, textiles, mousses) possède une hiérarchie du point de vue de sa cohésion : elle est constituée d'éléments « solides » (macromolécules liées par des liaisons covalentes) interagissant entre eux par des liaisons ioniques (électrostatiques).

2.3.2. Matériaux isolants et matériaux conducteurs

Un matériau est ainsi 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 (ex : baguette frottée).

Un matériau est dit conducteur parfait si, lorsqu'il devient électrisé, les porteurs de charge non compensés peuvent se déplacer librement dans tout le volume occupé par le matériau

Ce sera un isolant (ou diélectrique) parfait si les porteurs de charge non compensés ne peuvent se déplacer librement et restent localisés à l'endroit où ils ont été déposés

Un matériau quelconque se situe évidemment quelque part entre ces deux états extrêmes. Cette propriété de conduction de l'électricité sera abordée plus loin, dans le Chapitre sur l'électrocinétique

Refaisons une expérience d'électricité statique : prenons une baguette métallique par la main et frottons-la avec un chiffon. Cela ne marchera pas, la baguette ne sera pas électrisée. Pourquoi ? Etant nous-mêmes d'assez bons conducteurs, les charges électriques arrachées au chiffon et transférées à la baguette sont ensuite transférées sur nous et l'on ne verra plus d'effet électrique particulier au niveau de la baguette. Pour que cette expérience marche, il est nécessaire d'isoler électriquement la baguette (en la tenant avec un matériau diélectrique).

Références

- [1] Electromagnétisme PCSIP. Krempf - Editions Bréal 2003
- [2] Physique Cours compagne PCSI T. Cousin / H.Perodeau - Editions Dunod 2009
- [3] Electromagnétisme 1ère année MPSI-PCSI-PTSI - JM.Brébec - Editions Hachette
- [4] Cours de physique, électromagnétisme, 1.Electrostatique et magnétostatique - D.Cordier – Editions Dunod
- [5] La physique en fac cours et exercices corrigés - Emile Amzallag - Joseph Cipriani - Jocelyne Ben Aïm - Norbert Piccioli
- [6] http://wiki.sillages.info/index.php/Coordonnées_polaires_et_cylindriques
- [7] <http://epiphys.emn.fr>
- [8] <http://turrier.fr/maths-physique/coordonnees/systemes-de-coordonnees.html>
- [9] <https://nptel.ac.in/courses/115/106/115106122/>
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=xwDXOw8BEtI>
- [11] <https://www.youtube.com/watch?v=KDwc0Q5beAU>