Programme officiel

1. Electrostatique :

Charges et champ électrostatiques - Potentiel électrostatique - Flux du champ électrique – Théorème de Gauss - Dipôle électrique.

2. Conducteurs en équilibres :

Définition et propriétés des conducteurs en équilibre - Pression électrostatique - Capacité d'un conducteur et d'un condensateur.

3. Electrocinétique :

Conducteur électrique - Loi d'Ohm - Loi de Joule - Circuits électriques – Application de la loi d'Ohm aux réseaux - Lois de Kirchhoff.

Electromagnétisme :

Définition d'un champ magnétique - Force de Lorentz - Loi de Laplace - Loi de Biot et Savart - Dipôle magnétique.

Chapitre 1 : Electrostatique

I. Interaction électrique

I.1. Description des phénomènes d'électrisation

Expérience 1 :

Si on frotte une règle en plastique avec nos vêtements, ensuite on rapproche cette règle à des petits morceaux de papier, on observe que les morceaux de papier sont attirés par la règle.

On peut en conclure que, sous l'effet du frottement, ces matériaux (exemple, la règle en plastique) acquièrent une nouvelle propriété qu'on appelle électricité, et que cette propriété électrique donne naissance à une nouvelle interaction qu'on appelle interaction électrique.

D'une manière générale, tous les corps s'électrisent. Parmi les moyens d'électrisation, on cite :

- par frottement,
- par contact avec un corps déjà électrisé,
- en reliant le corps à une borne d'un générateur électrique.

Expérience 2 :

Si on refait l'expérience 1, mais avec une règle métallique, on remarque que les morceaux de papier ne sont pas attirés.

Dans ce cas, on peut en conclure que l'électrisation s'est répandue dans toute la règle.

Conclusion :

A partir des expériences 1 et 2, on peut classer les corps en deux catégories :

- Ceux pour lesquels l'électrisation reste localisée au point où on l'on a apportée. Ce sont les isolants ou les diélectriques.
  Exemples : verre, nylon, matières plastiques, …
- Ceux pour lesquels l'électrisation se répand en tous les points. Ce sont les conducteurs.
  Exemples : métaux, corps humain, Terre, eau, …

Interprétation :

Tous les phénomènes d'électrisation s'expliquent par des transferts d'électrons (ionisation ou attachement des électrons).

- Pour les isolants et les diélectriques, les électrons ne peuvent pas se déplacer d'un atome à un autre à l'intérieur des corps (énergie de liaison des électrons de valence est très importante). Ainsi, tout déséquilibre de charge reste localisé.

- Pour les conducteurs, les électrons de valence sont pratiquement libres (énergie de liaison des électrons de valence est faible). Ainsi, tout déséquilibre de charge est compensé par des charges libres.

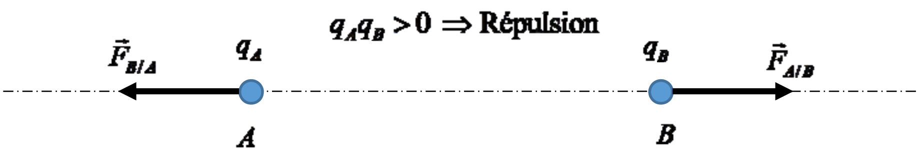
I.2. Conservation de la charge

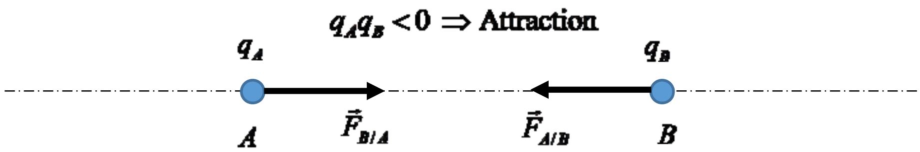
Dans tout système électriquement isolé, la somme algébrique des quantités d'électricité ou charges électriques se conserve.

I.3. Loi de Coulomb

Soient deux charges q_A et q_B placées aux points A et B respectivement dans le vide. Les forces d'interaction électrique qui s'exercent sur les charges q_A et q_B (Forces de Coulomb) sont données par l'expression suivante :

$$\boxed{\vec{F}_{A/B} = \frac{Kq_A q_B}{\left\|\overrightarrow{AB}\right\|^2}\frac{\overrightarrow{AB}}{\left\|\overrightarrow{AB}\right\|} = -\vec{F}_{B/A}}.$$





K est la constante de Coulomb. Dans le système GIORGI rationalisé : $K = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9\,S.I.$

où ε_0 est la permittivité de vide.

I.4. Energie potentielle électrique

La force d'interaction entre deux charges électriques est conservative. Par conséquent, l'énergie potentielle électrique correspondante est donnée par :

$$E_p = -\int \vec{F}_{A/B}.d\vec{r},$$

où $\vec{F}_{A/B} = \frac{Kq_Aq_B}{r^2}\vec{u}_r$, $\vec{r} = \overrightarrow{AB}$ et $\vec{u}_r = \frac{\overrightarrow{AB}}{\left\|\overrightarrow{AB}\right\|}$.

Ainsi,

$$\boxed{E_p = \frac{Kq_Aq_B}{r}} .$$

I.5. Relation entre force électrique et énergie potentielle électrique

La force électrique $\vec{F}$ est conservative ou dérive d'un potentiel. L'énergie potentielle électrique E_p correspondante est donnée par :

$$E_p = -\int \vec{F}.d\vec{r} .$$

En coordonnées cartésiennes,

$$\begin{cases} \vec{F} = F_x\vec{i} + F_y\vec{j} + F_z\vec{k} \\ d\vec{r} = dx\vec{i} + dy\vec{j} + dz\vec{k} \end{cases} \Rightarrow \quad dEp = -F_xdx - F_ydy - F_zdz \quad \Rightarrow \begin{cases} F_x = -\left.\frac{dE_p}{dx}\right|_{\substack{y\,\text{constant} \\ z\,\text{constant}}} = -\frac{\partial E_p}{\partial x} \\ F_y = -\left.\frac{dE_p}{dy}\right|_{\substack{x\,\text{constant} \\ z\,\text{constant}}} = -\frac{\partial E_p}{\partial y} \\ F_z = -\left.\frac{dE_p}{dz}\right|_{\substack{x\,\text{constant} \\ y\,\text{constant}}} = -\frac{\partial E_p}{\partial z} \end{cases} .$$

Il en résulte :

$$\vec{F} = -\frac{\partial E_p}{\partial x}\vec{i} - \frac{\partial E_p}{\partial y}\vec{j} - \frac{\partial E_p}{\partial z}\vec{k} = -\left(\frac{\partial}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial}{\partial z}\vec{k}\right)E_p = -\vec{\nabla}E_p .$$

L'opérateur mathématique $\vec{\nabla}$ est appelé ''NABLA''.

D'une façon générale, l'expression de $\vec{\nabla}$ est donnée par :

En coordonnées cartésiennes : $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial}{\partial z}\vec{k}$.

En coordonnées polaires : $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial r}\vec{u}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial \theta}\vec{u}_\theta$.

En coordonnées cylindriques : $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial r}\vec{u}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial \theta}\vec{u}_\theta + \frac{\partial}{\partial z}\vec{k}$.

Conclusion :

$$\boxed{dE_p = -\vec{F}.d\vec{r} \quad \Leftrightarrow \quad \vec{F} = -\vec{\nabla}E_p} .$$

I.6. Ordre de grandeur des forces électrostatiques

Dans le cas de l'atome d'Hydrogène, la force d'interaction électrique F_e et la force d'interaction gravitationnelle F_g sont données par :

$$F_e = \frac{K|q_e q_p|}{r_0^2} = \frac{Ke^2}{r_0^2} ,$$

$$F_g = \frac{Gm_e m_p}{r_0^2} ,$$

où $G = 6.67\times10^{-11} S.I.$, $m_p = 1836\, m_e$, $m_e = 9.1\times10^{-31} kg$, $K = 9\times10^9 S.I.$, et $e = 1.6\times10^{-19} C$.

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{K\,e^2}{1836\,G\,m_e^2} \simeq 2.27\times10^{39} .$$

Conclusion :

L'interaction gravitationnelle est négligeable devant l'interaction électrique.

II. Potentiel électrique et champ électrique

II.1. Définitions

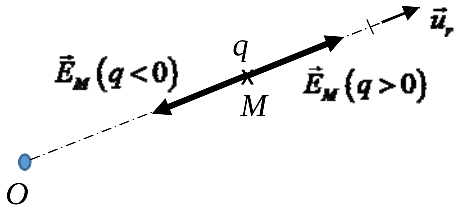
Une charge électrique q placée dans une position O quelconque de l'espace crée dans son environnement une perturbation électrique. Cette perturbation est proportionnelle à la valeur de la charge q et elle diminue en s'éloignant de cette dernière.

Mathématiquement, cette perturbation se traduit, en un point M , par une grandeur scalaire appelée potentiel électrique donné par l'expression :

$$\boxed{V_M = \frac{Kq}{r}}, \text{ où } \boxed{r = OM} .$$

De plus, on peut exprimer cette perturbation par une grandeur vectorielle appelée champ électrique donné par l’expression :

$$\vec{E}_M = \frac{Kq}{r^2}\vec{u}_r.$$



Conséquences :

Si on met une charge q' au point M, alors cette dernière acquière une énergie potentielle électrique donnée par :

$$E_p(q') = q'V_M \; .$$

De plus, la charge q' est soumise à une force électrique donnée par :

$$\vec{F}(q') = q'\vec{E}_M.$$

II.2. Relation entre champ électrique et potentiel électrique

A partir de la relation qu’on a déjà vu :

$$dE_p = -\vec{F}.d\vec{r} \quad \Leftrightarrow \quad \vec{F} = -\vec{\nabla}E_p \; ,$$

On peut facilement obtenir une relation entre le potentiel électrique et le champ électrique,

$$dV_M = -\vec{E}_M.d\vec{r} \quad \Leftrightarrow \quad \vec{E}_M = -\vec{\nabla}V_M.$$

II.3. Principe de superposition

Pour un système de n charges ponctuelles $q_{i=1,n}$ placées aux points $O_{i=1,n}$, le potentiel électrique V_M et le champ électrique $\vec{E}_M$ créés au point M sont donnés par les expressions suivantes :

$$V_M = \sum_{i=1}^{n}\frac{Kq_i}{r_i} \text{ , où } r_i = O_iM \, ,$$

$$\vec{E}_M = \sum_{i=1}^{n}\frac{Kq_i}{r_i^2}\vec{u}_i \text{ , où } \vec{u}_i = \frac{\overrightarrow{O_iM}}{\left\|\overrightarrow{O_iM}\right\|} \; .$$