

CHI - LES INTERACTIONS FONDAMENTALES

I. RAPPEL SUR LES PARTICULES ÉLÉMENTAIRES

1. L'électron

Dimension : ponctuel

Masse : $m_{e^-} = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Charge : $q_{e^-} = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

L'électron a été découvert en 1897 par Thomson.

2. Neutron et proton

Le noyau d'un atome est constitué de particules appelées nucléons. Elles sont de deux sortes :

- Le proton porteur d'une charge électrique élémentaire $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, et de masse $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$;
- Le neutron, dont la charge électrique est nulle, et la masse vaut $m_N = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Dans un atome, on note Z le nombre de protons (aussi appelé numéro atomique). Puisque l'atome est électriquement neutre, il y a donc Z électrons.

On note A le nombre de nucléons (aussi appelé nombre de masse). $A - Z$ est le nombre de neutrons.

On note un nucléide ${}^A_Z X$ où X est le symbole chimique de l'élément auquel il appartient.

II. INTERACTIONS FONDAMENTALES

1. Interaction gravitationnelle

Deux corps ponctuels A et B , de masse m_A et m_B , s'attirent mutuellement :

A exerce sur B une force notée $\vec{F}_{A/B}$ qui attire B .

B exerce sur A une force notée $\vec{F}_{B/A}$ qui attire A .

Ces forces sont dirigées selon la droite (AB) , de valeur $F = G \times \frac{m_A \times m_B}{AB^2}$, et de portée infinie.

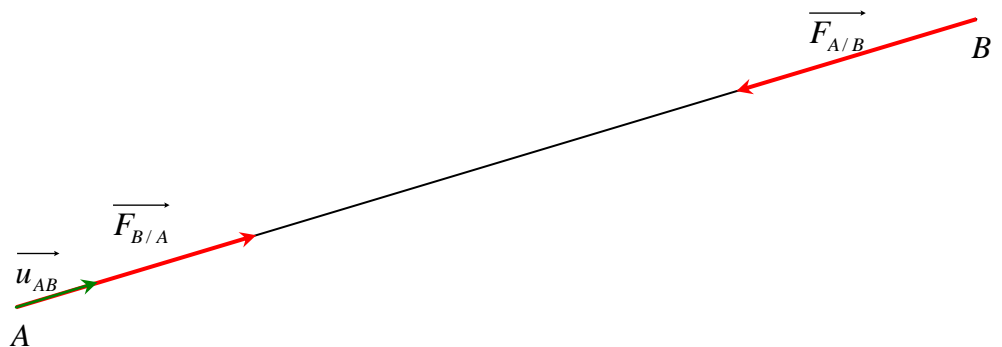
On définit un vecteur unitaire \vec{u}_{AB} , alors on a :

$$\vec{F}_{A/B} = -G \times \frac{m_A \times m_B}{AB^2} \vec{u}_{AB}$$

$$\vec{F}_{B/A} = G \times \frac{m_A \times m_B}{AB^2} \vec{u}_{AB}$$

$$\vec{F}_{A/B} + \vec{F}_{B/A} = \vec{0}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$$



Lorsque deux corps ne sont pas ponctuels, on prend leur centre de gravité comme référence : la distance qui sépare ces corps est la distance entre leurs centres de gravité, les forces s'appliquent aux centres de gravité.

2. Interaction électrique

a. Phénomènes d'électrisation

Certains objets peuvent être électrisés par frottements : ils attirent alors à distance des corps légers (par exemple une tige de verre, une tige d'ébonite, du PVC).

Quand un corps A électrisé touche un corps B non électrisé, ce dernier s'électrise. Alors A et B se repoussent

Les corps électrisés portent une charge électrique, il y a deux types de corps électrisés donc deux types de charge : des charges positives et des charges négatives.

Deux charges de signe opposé s'attirent, deux charges de même signe se repoussent.

Charge	+	-
+	Répulsion	Attraction
-	Attraction	Répulsion

Lors de l'électrisation par frottements, des électrons sont arrachés.

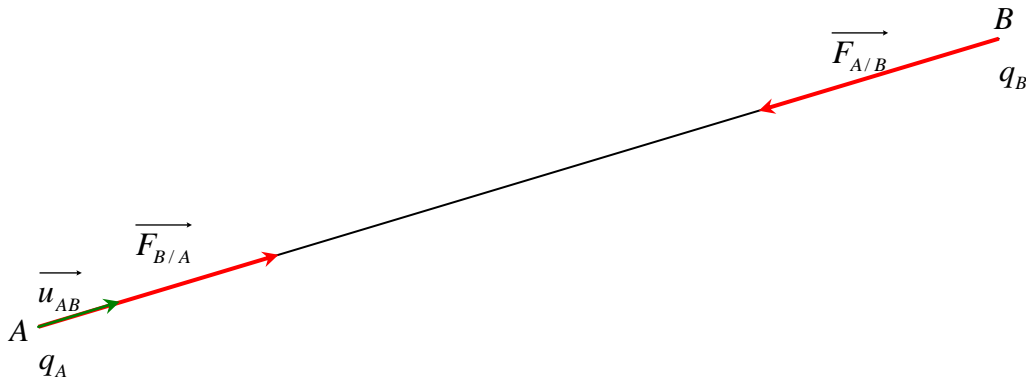
Isolant : un corps solide est isolant si aucun des électrons des atomes qui le constituent ne peut s'y déplacer sur des distances supérieures aux dimensions atomiques (verre, PVC, plastique). La charge électrique est localisée.

Conducteur : un corps solide est un conducteur lorsque certains électrons des atomes qui le constituent peuvent circuler librement. La charge électrique se répartira alors sur tout le solide (par exemple des métaux comme le cuivre, l'or, l'argent, l'aluminium ou le fer).

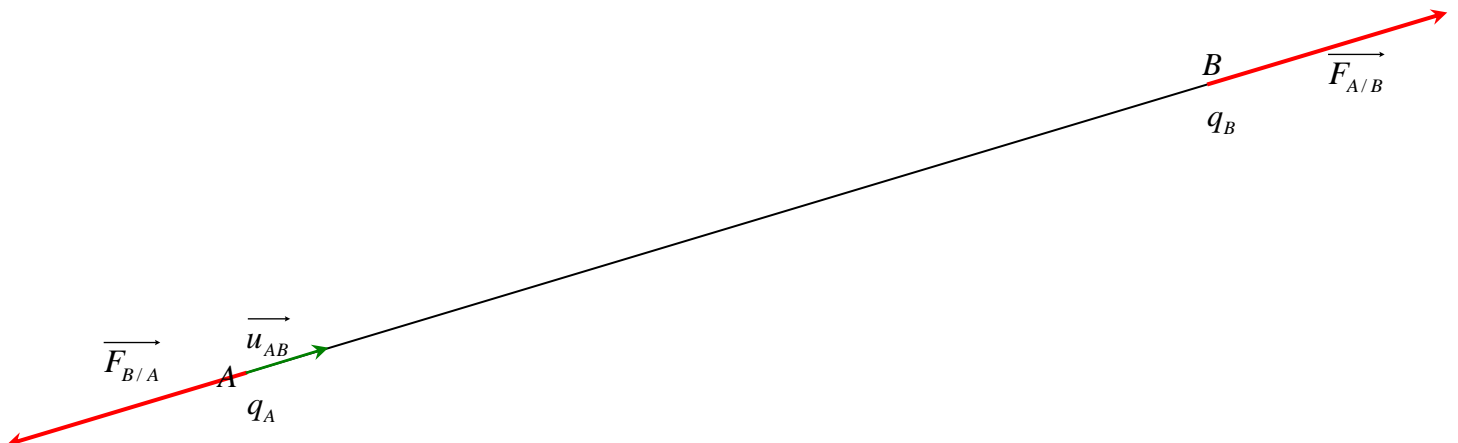
On appelle porteurs de charge les entités dont la taille est microscopique et qui peuvent se déplacer dans les conducteurs (les électrons sont les porteurs de charge dans les métaux, les ions sont les porteurs de charge dans les électrolytes).

b. Interaction électrique entre deux corps chargés

Cas 1 : charges de signe opposé



Cas 2 : charges de même signe



$$\vec{F}_{A/B} = k \times \frac{q_A \times q_B}{AB^2} \vec{u}_{AB} \qquad \vec{F}_{B/A} = -k \times \frac{q_A \times q_B}{AB^2} \vec{u}_{AB} \qquad \text{avec } k = 8,99.10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{C}^{-2}.$$

On a toujours $\vec{F}_{A/B} + \vec{F}_{B/A} = \vec{0}$, puisqu'il s'agit d'interactions.

Il est intéressant de comparer la loi de Coulomb et la loi de Newton :

Loi de Coulomb

$$\vec{F}_{A/B} = k \times \frac{q_A \times q_B}{AB^2} \vec{u}_{AB}$$

$$k = 8,99.10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{C}^{-2}$$

Force attractive ou répulsive

Portée infinie

Loi de Newton

$$\vec{F}_{A/B} = -G \times \frac{m_A \times m_B}{AB^2} \vec{u}_{AB}$$

$$G = 6,67.10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$$

Force toujours attractive

Portée infinie

3. Interaction forte

Prenons un exemple d'un noyau d'hélium : qu'est-ce qui assure la cohésion du noyau ? Si l'on regarde les forces qui s'exercent sur les nucléons, on constate qu'ils ne sont soumis qu'à deux forces : une force électrique répulsive et la force gravitationnelle attractive.

Il y a 2 protons, donc deux particules chargées qui se repoussent :

$$F_{\text{électrique}} = k \times \frac{q_p^2}{d^2} = 8,99.10^9 \times \frac{(1,6.10^{-19})^2}{(10^{-14})^2} = 2,3 \text{ N}$$

Calculons l'interaction gravitationnelle entre 2 particules du noyau :

$$F_{\text{gravitationnelle}} = G \times \frac{m_{\text{nucléon}}^2}{d^2} = 6,67.10^{-11} \times \frac{(1,67.10^{-27})^2}{(10^{-14})^2} = 1,9.10^{-36} \text{ N}$$

$$\frac{F_{\text{électrique}}}{F_{\text{gravitationnelle}}} = \frac{2,3}{1,9.10^{-36}} \approx 10^{36}$$

La force électrique est 10^{36} fois plus forte que la force gravitationnelle, le noyau devrait se désintégrer !

D'après les résultats, il y a donc une troisième force qui agit et permet de maintenir la cohésion du noyau, cette force résulte d'une interaction appelée interaction forte. Sa portée est de l'ordre de 10^{-14} m , elle n'agit donc qu'au sein du noyau. Elle est environ 100 à 1000 fois plus forte que l'interaction électrique.

III. COHÉSION DE LA MATIÈRE

À l'échelle du noyau : **interaction forte** (10^{-14} m).

Les atomes sont stables jusqu'à l'uranium. Au-delà, l'interaction électrique l'emporte et les noyaux se désintègrent : c'est la radioactivité.

À l'échelle de l'atome : **interaction électrique** (10^{-10} m).

L'interaction forte n'agit plus, l'interaction gravitationnelle est trop faible donc négligeable.

À l'échelle macroscopique : **interactions électrique et gravitationnelle** (1m).

L'interaction électrique agit toujours, elle est notamment responsable de la cohésion des solides et des liquides, la force de réaction entre de solide ou encore les frottements et les forces de Van Der Waals. L'interaction gravitationnelle commence à se faire sentir, essentiellement sous la forme du poids.

À l'échelle astronomique : **interaction gravitationnelle** (10^6 m à plus de 10^{20} m).

Les corps apparaissent comme électriquement neutres, c'est la force gravitationnelle qui prédomine et assure la cohésion des systèmes solaires, galaxies et univers.