

# Les interactions fondamentales

L'électron, le proton et le neutron sont trois briques « élémentaires » qui s'associent pour former la matière depuis les noyaux des atomes jusqu'aux systèmes astronomiques en passant par les molécules, les organismes vivants, les phases gazeuses ....

La cohésion de la matière est assurée principalement par trois interactions dites fondamentales : l'interaction gravitationnelle, l'interaction électromagnétique et l'interaction forte.

## I- Les particules « élémentaires » (voir activité documentaire)

Un atome est constitué d'un noyau formé de nucléons (protons et neutrons) autour duquel gravitent un ou plusieurs électron(s).

Le diamètre d'un atome est de l'ordre de  $10^{-10}$  m, celui d'un noyau est de l'ordre de  $10^{-15}$  m.

La masse d'un nucléon est environ 1800 fois plus élevée que celle d'un électron. La masse d'un atome est donc concentrée dans son noyau.

L'unité de charge électrique est le Coulomb (noté C).

Les charges électriques de l'électron et du proton ont la même valeur absolue  $e$  que l'on appelle charge électrique élémentaire.  $e = 1,60 \times 10^{-19}$  C

Toute charge électrique est un multiple entier de la charge élémentaire.

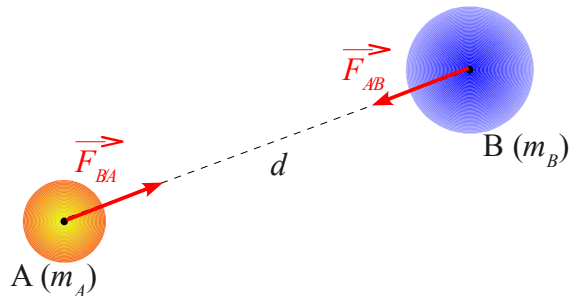
Un atome possède autant de protons dans son noyau que d'électrons qui gravitent autour de ce noyau. La charge électrique totale d'un atome est nulle.

## II- La masse et l'interaction gravitationnelle

Cette interaction attractive s'exerce entre tous les objets qui ont une masse.

### Loi de Newton (1687) :

Deux corps A et B ponctuels ou à répartition sphérique de masse, dont les centres sont distants de  $d$  et de masse  $m_A$  et  $m_B$ , exercent l'un sur l'autre des forces d'interaction gravitationnelle attractives :  $\vec{F}_{A/B}$  et  $\vec{F}_{B/A}$ , dont la valeur est proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance.



$F_{A/B}$  et  $F_{B/A}$  en N

$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A m_B}{d^2} \quad \text{avec } m_A \text{ et } m_B \text{ en kg}$$

$d$  en m

$G$  constante de gravitation  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  N.m<sup>2</sup>.kg<sup>-2</sup>

Ces deux forces sont appliquées aux centres des objets, elles ont même direction, des sens contraires et même valeur.

**Application 1** : Déterminer la valeur de la force gravitationnelle qui s'exerce entre deux protons en considérant que la distance qui sépare leurs centres est de 2,4 fm.

$$F_{p/p} = G \frac{m_p m_p}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \times 1,67 \cdot 10^{-27}}{(2,4 \cdot 10^{-15})^2} = 3,2 \cdot 10^{-35} \text{ N}$$

**Application 2** : Déterminer la valeur  $F_{p/e}$  de la force gravitationnelle qui s'exerce entre le proton et l'électron dans un atome d'hydrogène sachant que la distance moyenne entre le proton et l'électron est de 53 pm.

$$F_{p/e} = G \frac{m_p m_e}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \times 9,11 \cdot 10^{-31}}{(53 \cdot 10^{-12})^2} = 3,6 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

**Application 3** : Déterminer la valeur de la force gravitationnelle qui s'exerce entre la terre et le soleil.

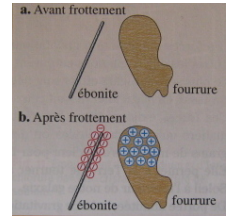
$$F_{T/S} = G \frac{m_T m_S}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,98 \cdot 10^{24} \times 1,98 \cdot 10^{30}}{(1,50 \cdot 10^{11})^2} = 3,51 \cdot 10^{22} \text{ N}$$

### III- Les charges et l'interaction électrique

Cette interaction peut être attractive ou répulsive, elle s'exerce entre tous les objets qui ont une charge électrique.

Lorsqu'on frotte deux isolants, on fait apparaître de l'électricité statique : l'un des corps a arraché des électrons à l'autre. Il y a **électrisation par frottement**.

Le corps qui a perdu des électrons est devenu positif alors que l'autre est devenu négatif.



**Exp :** On frotte une paille avec un mouchoir en papier puis on la suspend. On frotte une autre paille avec le mouchoir en papier.

Observations : Lorsqu'on approche les deux pailles, elles se repoussent.

Lorsqu'on approche le mouchoir en papier de la paille suspendue, celle-ci est attirée.

Interprétation : Deux objets électrisés s'attirent ou se repoussent. Il existe donc deux types d'électricité.

**Deux corps portant des charges électriques de même signe se repoussent.**

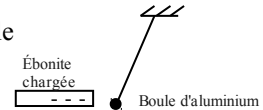


**Deux corps portant des charges électriques de signes contraires s'attirent.**

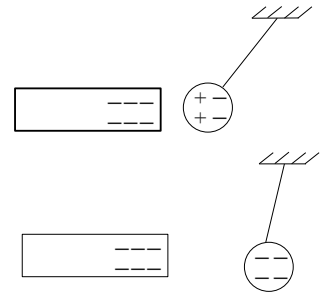


**Exp :** On frotte une baguette en ébonite avec de la laine. On approche la baguette d'une petite boule d'aluminium qui sert de pendule électrostatique.

Observations : Le pendule est attiré par la baguette puis, après le contact, il est repoussé.



Interprétation : Lorsqu'on approche la baguette chargée négativement, les électrons migrent dans la boule d'aluminium. Un excès de charges positives apparaît donc sur la partie de la boule en face de la baguette, la boule est attirée. On dit qu'il y a **électrisation par influence**.



Lors du contact, des électrons sont transférés de la baguette vers la boule d'aluminium qui devient chargée négativement, la boule est alors repoussée par la baguette.

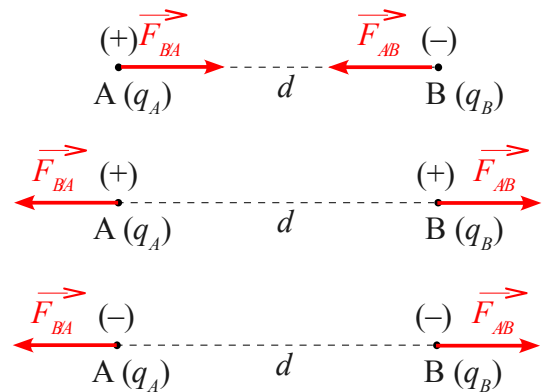
L'électricité statique permet de mouvoir des objets légers. Il est possible d'électriser un matériau par frottement ou par influence. Le phénomène d'électrisation s'interprète par le déplacement des électrons.

#### Loi de Coulomb (1785)

Deux corps ponctuels A et B, distants de  $d$ , portent des charges électriques  $q_A$  et  $q_B$ .

Ils exercent l'un sur l'autre des forces  $\vec{F}_{A/B}$  et  $\vec{F}_{B/A}$  :

- de direction : la droite AB
- attractives si les charges sont de signes contraires et répulsives si les charges sont de même signe
- de même valeur  $F$  proportionnelle à la valeur absolue des charges et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare



$$F_{A/B} = F_{B/A} = k \frac{|q_A| |q_B|}{d^2}$$

avec  $F_{A/B}$  et  $F_{B/A}$  en N  
 $q_A$  et  $q_B$  en C

$d$  en m

$k$  constante qui dépend du milieu où se trouvent les charges dans le vide ou dans l'air  $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}$

Rq: L'interaction électrique est un aspect de l'interaction électromagnétique.

**Application 1 :** Déterminer la valeur de la force d'interaction électrique qui s'exerce entre deux protons en considérant que la distance

qui sépare leurs centres est de 2,4 fm.

$$F_{p/p} = k \frac{|q_p||q_p|}{d^2} = 9,0 \cdot 10^9 \times \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \times 1,6 \cdot 10^{-19}}{(2,4 \cdot 10^{-15})^2} = 40 \text{ N}$$

**Application 2 :** Déterminer la valeur  $F_{p/e}$  de la force d'interaction électrique qui s'exerce entre le proton et l'électron dans un atome d'hydrogène sachant que la distance moyenne entre le proton et l'électron est de 53 pm.

$$F_{p/e} = k \frac{|q_p||q_e|}{d^2} = 9,0 \cdot 10^9 \times \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \times 1,6 \cdot 10^{-19}}{(53 \cdot 10^{-12})^2} = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

**Application 3 :** Déterminer la valeur de la force d'interaction électrique qui s'exerce entre la terre et le soleil.

La Terre et le Soleil étant globalement neutres, il n'y a pas d'interaction électrique entre ces deux corps.

$$F_{T/S} = 0 \text{ N}$$

### III- Les nucléons et l'interaction forte

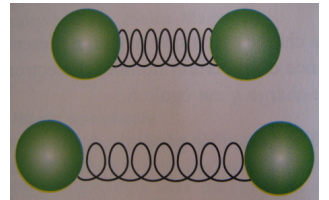
Considérons 2 protons situés dans un même noyau.

$$F_e \approx 10^{36} F_g$$

La force électrique, répulsive, qui s'exerce entre eux est très grande par rapport à la force gravitationnelle, attractive, qu'ils exercent l'un sur l'autre.

Le noyau étant stable : il existe une autre force qui assure sa cohésion : c'est l'interaction forte.

L'interaction forte est attractive, très intense et de très courte portée, son action ne dépasse pas les limites du noyau. Elle s'exerce entre les nucléons. On peut la modéliser par un ressort : plus les deux nucléons s'éloignent, plus le ressort est tendu et plus les nucléons sont ramenés l'un vers l'autre. Si malgré tout on arrive à les écarter, le ressort casse et il n'y a plus d'interaction, c'est le cas des noyaux lourds qui sont instables tels que l'uranium 238.



### IV- Cohésion de la matière

#### 1) A l'échelle astronomique

L'interaction gravitationnelle assure la cohésion de la matière à l'échelle astronomique.

Elle est à l'origine de l'association des grains de matière pour former les planètes et les étoiles. Elle permet à la Terre de tourner autour du Soleil, et elle maintient le Soleil à l'intérieur de notre galaxie.

#### 2) A l'échelle atomique et humaine

L'interaction électromagnétique assure la cohésion de la matière à l'échelle atomique et humaine.

Elle est à l'origine de l'association des cations et des anions au sein des cristaux ioniques et des solides moléculaires. C'est elle qui permet d'expliquer la force de rappel d'un ressort (par modification des distance intermoléculaires) ....

#### 3) A l'échelle nucléaire

L'interaction forte assure la cohésion de la matière à l'échelle du noyau.

Dans le noyau, il y a des interactions électriques de nature répulsive entre les protons et l'interaction forte de nature attractive entre les nucléons. Jusqu'à l'uranium de numéro atomique  $Z = 92$ , l'interaction forte prédomine : l'uranium est l'élément naturel le plus lourd. Au delà, les noyaux sont instables et se décomposent sous l'effet principale de l'interaction électrique.