

Chapitre 7φ : cohésion de la matière et interactions

On constate que la matière peut se présenter

- ◆ sous différents états : solide, liquide, gaz, plasma, superfluide...
- ◆ et sous différentes formes : atome, noyau, molécule, cellule, organisme vivant complexe, système planétaire, galaxie...

On pourrait penser qu'il faut un très grand nombre de briques élémentaires pour former toute cette matière mais on constate qu'elle n'est constituée que de trois particules élémentaires : les protons, les neutrons et les électrons.

Encore plus surprenant : la cohésion de tous ces systèmes, radicalement différents les uns des autres, n'est assurée que par quatre forces, que nous allons étudier dans le détail, et qui sont :

- ◆ l'interaction forte ;
- ◆ l'interaction faible ;
- ◆ l'interaction électromagnétique ;
- ◆ l'interaction gravitationnelle.

I. Les particules élémentaires

1. Masse et charge

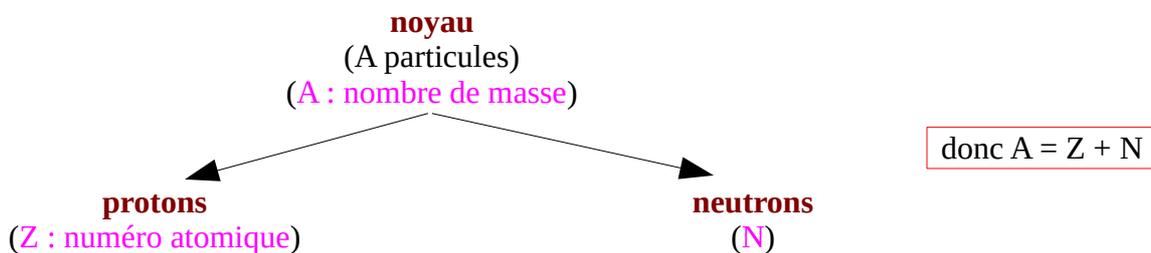
	proton	neutron	électron
masse (kg)	$1,67 \cdot 10^{-27}$	$1,67 \cdot 10^{-27}$	$9,1 \cdot 10^{-31}$
charge (C)	$q = + e = 1,6 \cdot 10^{-19}$	0	$q = - e = - 1,6 \cdot 10^{-19}$

Commentaires :

- $m_p = m_n$
- $\frac{m_p}{m_e} = 1836$: un électron a une masse 1836 fois plus petite que celle d'un proton
- e est la charge élémentaire. Toute charge électrique dans la nature est forcément un multiple de e .

2. L'atome

Atome = noyau + e-



Le nombre de protons est égal au nombre d'électrons car un atome est électriquement neutre.

Ordres de grandeur :

- noyau : 10^{-15} m
- atome : 10^{-10} m

Commentaire :

$\frac{\text{taille atome}}{\text{taille noyau}} \approx 100\,000$. Entre le noyau et les électrons, il y a le vide : la matière est lacunaire.

Le noyau d'un atome est représenté par le symbole A_ZX où A est le nombre de masse (le nombre de nucléons) et Z le numéro atomique (le nombre de protons).

II. Les interactions fondamentales

Rappel : on parle d'interaction entre deux corps A et B si, lorsque A agit sur B, alors B agit sur A de la même manière.

1. L'interaction gravitationnelle

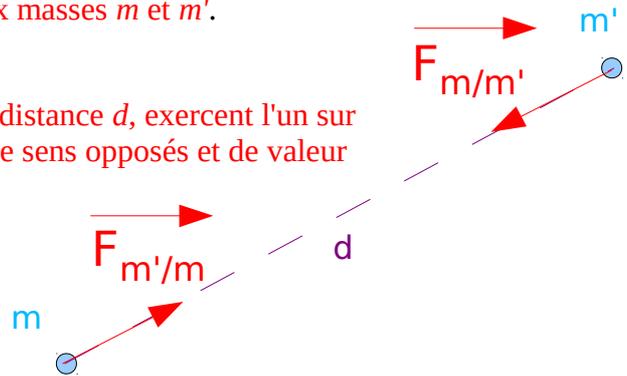
Il s'agit d'une interaction attractive s'exerçant entre deux masses m et m' .

a. Loi de Newton

Deux corps ponctuels de masses m et m' , séparés d'une distance d , exercent l'un sur l'autre des forces attractives, selon la même direction, de sens opposés et de valeur commune :

$$F = G \cdot \frac{m \cdot m'}{d^2}$$

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$: constante de gravitation universelle ; F (N), m et m' (kg), d (m).



b. Portée

La portée de l'interaction gravitationnelle est infinie. Son intensité varie en $\frac{1}{d^2}$.

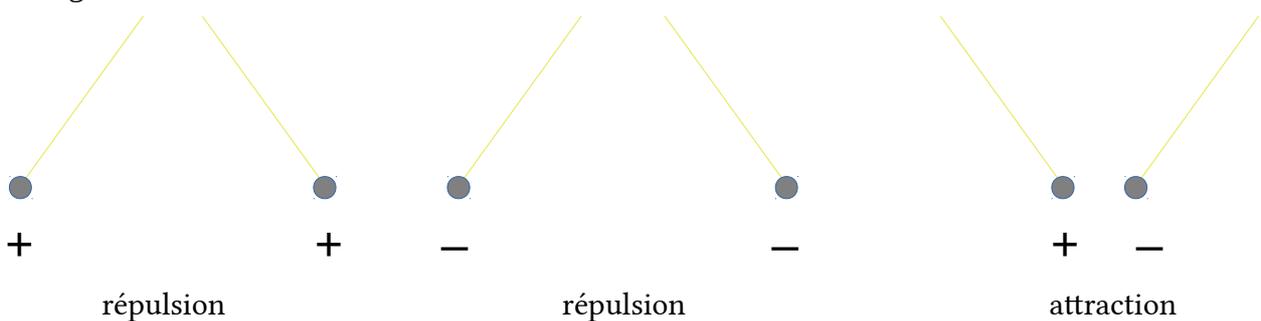
2. L'interaction électromagnétique

Il s'agit d'une interaction attractive ou répulsive s'exerçant sur deux objets électriquement chargés.
 charges constantes immobiles → interaction électrique
 charges en mouvement → interaction magnétique } → interaction électromagnétique

a. Mise en évidence de l'interaction électrique

Une charge + est obtenue en frottant du verre avec de la laine

Une charge - est obtenue en frottant de l'ébonite avec de la fourrure.

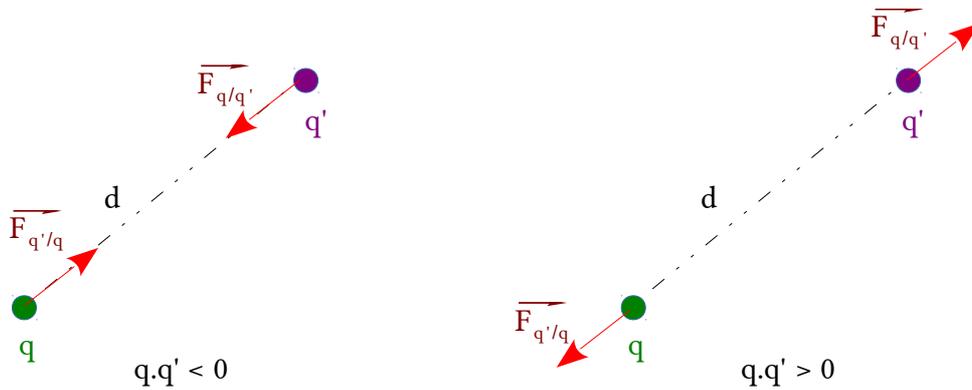


b. Loi de Coulomb

Deux charges ponctuelles q et q' , séparées d'une distance d , exercent l'une sur l'autre des forces selon la même direction, de sens opposés et de valeur commune : $F = K \cdot \frac{|q| \cdot |q'|}{d^2}$

Ces forces sont attractives ou répulsives selon la nature des charges.

$K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$: constante électrique ; F (N), q et q' (C), d (m).



c. Portée

La portée de l'interaction électrique est infinie. Son intensité varie en $\frac{1}{d^2}$.

d. Comparaison entre les deux interactions

Exemple : pour un atome d'hydrogène :

force gravitationnelle : $F_G = G \cdot \frac{m_p \cdot m_e}{d^2}$ force électrique : $F_E = K \cdot \frac{|q_p| \cdot |q_e|}{d^2} = K \cdot \frac{e^2}{d^2}$

$$\text{rapport de ces deux forces : } \frac{F_E}{F_G} = \frac{K \cdot \frac{e^2}{d^2}}{G \cdot \frac{m_p \cdot m_e}{d^2}} = \frac{K \cdot e^2}{G \cdot m_p \cdot m_e} = \frac{9 \cdot 10^9 \times (1,6 \cdot 10^{-19})^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \times 1,67 \cdot 10^{-27} \times 9,1 \cdot 10^{-31}} = 2 \cdot 10^{39}$$

L'interaction électrique est environ 10^{39} fois plus intense que l'interaction gravitationnelle !

e. Phénomène d'électrisation

Il y a deux types de corps : les isolants et les conducteurs.

Dans un isolant, les déplacements des charges sont inférieurs à la taille des atomes.

Dans un conducteur, certains électrons sont libres de se déplacer dans tout l'échantillon.

3. L'interaction forte

Soit l'atome de lithium ${}^7_3\text{Li}$. Le noyau est composé de $Z = 3$ protons et de $N = A - Z = 4$ neutrons. Comment les neutrons "tiennent-ils" ensemble ? Pire : pourquoi les protons ne se fuient-ils pas ?

a. Définition

L'interaction forte est une interaction attractive s'exerçant entre les nucléons présents dans les noyaux atomiques.

b. Portée

L'interaction forte est 1000 fois plus intense que l'interaction électrique mais elle s'affaiblit considérablement au-delà d'une distance de 10^{-14} m.

4. L'interaction faible

C'est une interaction 100 000 fois plus faible que l'interaction forte et sa portée est extrêmement faible, en-dessous de 10^{-15} m. Elle explique certains phénomènes de radioactivité.

Exercices

Exercice 11 p 136

1. Ces ions sont positifs, ce sont des cations.
2. $q_1 = 2.e$; $q_2 = 3.e$.
3. Le premier ion est donc Fe^{2+} , le second est Fe^{3+} .

Exercice 13 p 136

1. $D_{\text{Soleil}} = 1\,392\,000\text{ km} = 1,392 \cdot 10^6\text{ km}$; ordre de grandeur : 10^6 km .
 2. $D_{\text{galaxie}} = 100\,000 \times 9,46 \cdot 10^{15} = 9,46 \cdot 10^{20}\text{ m} = 9,46 \cdot 10^{17}\text{ km}$; ordre de grandeur : 10^{18} km .
- Rapport entre les ordres de grandeur : $\frac{10^{18}}{10^6} = 10^{12}$ (mille milliards !)

Exercice 26 p 138

Traduction du texte :

« La gravitation est mystérieuse. C'est clairement l'une des interactions fondamentales, mais le modèle standard ne peut pas l'expliquer de façon satisfaisante. C'est une des questions de la physique sans réponse aujourd'hui. En outre, la particule porteuse de la force de gravité n'a pas encore été trouvée. Une telle particule est cependant prévue par la théorie et sera peut être trouvée un jour : le graviton. Heureusement, les effets de la gravité sont extrêmement faibles dans la plupart des situations physiques des particules par rapport aux trois autres interactions, si bien que la théorie et l'expérience peuvent être comparées sans prendre en compte la gravité dans les calculs. Ainsi, le modèle standard fonctionne sans pour autant expliquer la gravité. »

1. La gravitation est l'une des 4 interactions fondamentales.
2. On cherche aujourd'hui à prouver l'existence du graviton « particule élémentaire » support de la force de gravitation.
3. La valeur de la force de gravitation est extrêmement faible au regard des autres forces d'interaction (au niveau de la physique des particules). Cette remarque n'est pas vraie à toutes les échelles, l'interaction gravitationnelle gouverne l'échelle astronomique.

Exercice 22 p 131 ancienne édition

1. C'est la force d'attraction gravitationnelle. Elle est associée à l'interaction gravitationnelle.
2. Il s'agit de l'interaction électromagnétique. C'est elle qui assure la cohésion de la matière à cette échelle.
3. L'interaction gravitationnelle prédomine pour des astres dont les dimensions sont supérieures à 100 km.
4. La masse de Phobos est trop petite pour que ce satellite soit sphérique.

$$5. F_G(\text{Phobos}) = G \cdot \frac{m_{\text{Phobos}} \cdot m}{R_{\text{Phobos}}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{1,1 \cdot 10^{16} \times 1,0}{(11 \cdot 10^3)^2} = \mathbf{6,1 \cdot 10^{-3} \text{ N}}$$

$$F_G(\text{Mars}) = G \cdot \frac{m_{\text{Mars}} \cdot m}{R_{\text{Mars}}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{6,4 \cdot 10^{23} \times 1,0}{(3,4 \cdot 10^6)^2} = \mathbf{3,7 \text{ N}}$$

$$\frac{F_G(\text{Mars})}{F_G(\text{Phobos})} = \frac{3,7}{6,1 \cdot 10^{-3}} \approx \mathbf{600}$$

La valeur de la gravitation est environ 600 fois plus intense sur Mars que sur Phobos.