

# Cohésion de la matière

## 7.1 Les particules élémentaires

### 7.1.1 Préambule

Nous considérerons que le *neutron* et le *proton* sont des particules élémentaires. En toute rigueur, ça n'est pas le cas puisqu'ils sont constitués de *quarks* liés par des *gluons*. Pour en savoir plus sur ce sujet, il faut chercher des cours sur le *Modèle Standard* en *Physique des Particules*.

### 7.1.2 Neutron et Proton

Le *neutron* et le *proton* sont les constituants du noyau de tous les éléments. Ils ont quasiment la même taille et la même masse. L'ordre de grandeur de leur masse est de

$$10^{-27} \text{ kg}$$

Le *neutron* est neutre, sa charge électrique est nulle. Le *proton* a une charge électrique de  $+e$ , avec

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

qui est la *charge électrique élémentaire* (table 7.1).

### 7.1.3 Électron

L'*électron* est une particule chargée négativement

$$q_{\text{électron}} = -e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

, de masse

$$m_{\text{électron}} = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

soit un ordre de grandeur de  $10^{-30} \text{ kg}$ . La taille de l'électron est extrêmement faible et inconnue.

### 7.1.4 Charge électrique élémentaire

La charge  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$  est la *charge électrique élémentaire*, c'est à dire qu'il n'existe pas de charge plus petite. Toutes les charges électriques

sont un multiple de cette charge.

C'est l'expérience faite en 1906 par Robert Millikan (prix Nobel de Physique 1923) qui a permis de mettre en évidence ce fait.

## 7.2 Atome

### 7.2.1 Structure de l'atome

L'*atome* est constitué d'un *noyau* formé par des protons et des neutrons, et d'un *nuage électronique* où se déplacent des électrons (figure 7.1).

Ce nuage électronique a des formes qui dépendent de l'énergie des électrons, c'est à dire de la "couche électronique" à laquelle ils appartiennent.

On ne peut pas localiser précisément un électron, on calcule seulement sa probabilité de présence à un endroit donné dans le nuage.

La taille du noyau est de l'ordre de  $10^{-15} \text{ m}$  alors que l'atome a une taille de  $10^{-10} \text{ m}$ , le noyau est  $100\,000 \times$  plus petit que l'atome.

Un atome est *électriquement neutre*, la charge électrique positive du noyau est compensée par la charge électrique négative du nuage électronique, c'est à dire que le nombre de protons est identique au nombre d'électrons.

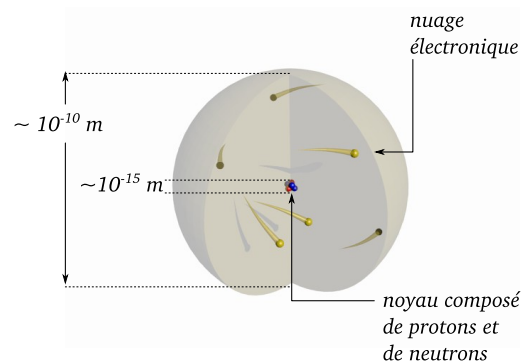


Figure 7.1 – Structure et taille d'un atome

Particule	Charge	Masse	Ordre de grandeur à savoir!
neutron	0	$1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$10^{-27} \text{ kg}$
proton	$+e$	$1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$10^{-27} \text{ kg}$
lectron	$-e$	$9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$10^{-30} \text{ kg}$

Table 7.1 – Caractéristiques du neutron, du proton et de l'électron avec  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

### 7.2.2 Isotope

Un *élément chimique* est caractérisé par son *nombre de protons*  $Z$  qui va définir son nombre d'électrons et donc ses propriétés chimiques. Par contre, pour un même élément, on peut avoir un nombre de neutrons dans le noyau légèrement différent, les deux éléments sont isotope, ils ont la même charge électrique dans le noyau (même nombre de protons) mais un nombre de neutrons différents, ils n'auront donc pas la même masse.

### 7.2.3 Notation symbolique

La notation symbolique  ${}^A_Z X$  permet de donner le symbole  $X$  de l'atome, ainsi que le nombre de proton  $Z$  et le nombre total  $A$  de neutrons et de protons dans le noyau.

**Exemple** Le Carbone a deux isotopes  ${}^{14}_6 C$  et  ${}^{12}_6 C$ . Le carbone 12 est stable, le carbone 14 est radioactif.

## 7.3 La matière à différentes échelles

La matière, c'est à dire ce qui possède de la masse, s'assemble en édifices de plus en plus grands pour former l'ensemble de l'Univers connu, en partant des particules élémentaires jusqu'aux galaxies. En fonction de l'échelle considérée, certaines actions sont prépondérantes et on pourra négliger le rôle des autres interactions (figure 7.2).

## 7.4 Les quatre interactions fondamentales

### 7.4.1 Interaction faible

L'interaction faible est à très courte portée, de l'ordre du diamètre d'un nucléon. Elle n'est prépondérante qu'à cette échelle.

### 7.4.2 Interaction forte

L'interaction forte est à très courte portée, elle agit entre les nucléons, sa portée est de l'ordre du diamètre du noyau. Elle permet d'assurer la cohésion du noyau qui éclaterait sinon sous l'effet des forces répulsives électromagnétiques entre les protons.

### 7.4.3 Interaction électromagnétique

C'est une interaction répulsive ou attractive en fonction des signes des charges électriques. Elle décroît avec la distance. Elle est prépondérante sur des échelles allant des atomes à notre échelle.

### 7.4.4 Interaction gravitationnelle

C'est une interaction attractive, à très longue portée, décroissante avec la distance. Elle est prépondérante aux échelles astronomiques.

## 7.5 Exercices

Ex.5 p.128	Ex.6 p.128	Ex.8 p.128
Ex.10 p.128	Ex.12 p.128	Ex.13 p.128
Ex.14 p.128	Ex.15 p.129	Ex.18 p.129
Ex.19 p.130	Ex.21 p.130	Ex.22 p.131

## 7.6 Corrections

**Exercice 5 p.128** Voir paragraphe 1.1 page 122. Les particules élémentaires sont le neutron, le proton et l'électron. Le noyau de l'atome d'hélium est constitué de deux protons et de deux neutrons. Ce n'est pas une particule élémentaire. L'atome d'hélium est composé du noyau (voir ci dessus) et d'électrons, ce n'est donc pas une particule élémentaire. Le noyau de l'atome d'hydrogène est un proton, c'est donc une particule élémentaire.

**Exercice 6 p.128** 1.a  $m = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$  donc en arrondissant 1.67 à 1,  $m = 1 \times 10^{-27} \text{ kg}$  soit encore  $m = 10^{-27} \text{ kg}$ . 1.b  $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  donc en arrondissant 9.1 à 10,  $m_e = 10 \times 10^{-31} \text{ kg}$  soit encore  $m_e = 10^{-30} \text{ kg}$ . 2.  $\frac{m}{m_e} = \frac{10^{-27}}{10^{-30}} = 1000$ , donc le nucléon est mille fois plus lourd que l'électron, on peut négliger la masse de l'électron (si vous avez une masse de 50 kg, l'électron, à votre échelle aurait une masse de  $\frac{50 \text{ kg}}{1000} = 50 \text{ g}$ ).

**Exercice 8 p.128** 1. La masse totale  $M_T$  est la somme des masses  $m_e$  de chacun des  $n$  électrons de l'atome, donc  $M_T = n \times m_e$ . Ici, on connaît  $M_T$  et  $m_e$ , on cherche l'inconnue  $n$ , donc  $n = \frac{M_T}{m_e}$  et  $n = \frac{5.5 \times 10^{-30}}{9.1 \times 10^{-31}} = 6.0$ , il y a 6 électrons dans cet atome. 2. L'atome étant électriquement neutre, il y a autant

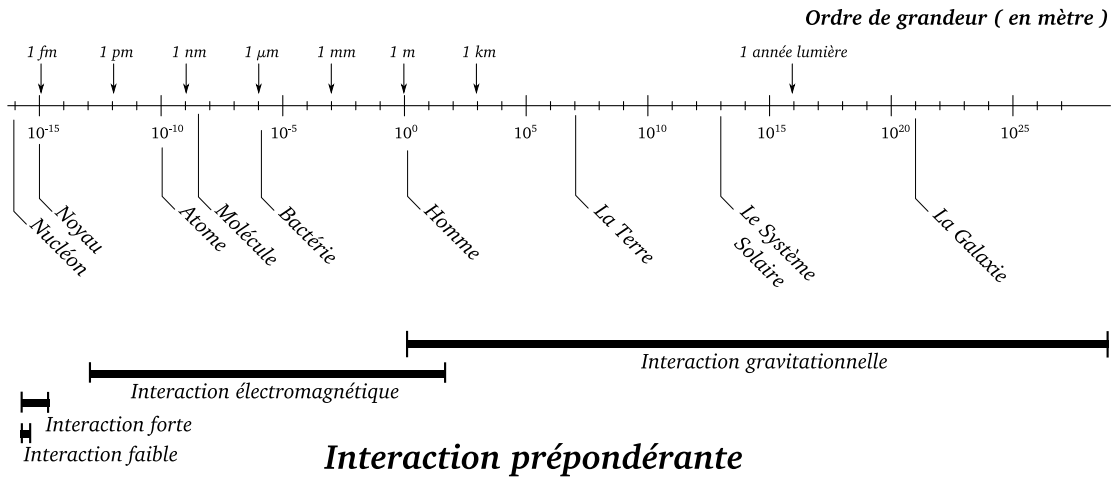


Figure 7.2 – Ordres de grandeurs dans l'Univers et interactions prépondérantes

de charges positives que négatives, donc ici, il y a 6 protons dans le noyau. **3.**  $Z = 6$ , par définition.

**Exercice 10 p.128** **1.**  $^{20}_{10}\text{Ne}$  10 protons et 10 neutrons dans le noyau, 10 électrons dans le nuage électronique.  $^9_4\text{Be}$  4 protons et 5 neutrons dans le noyau, 4 électrons dans le nuage électronique.  $^4_2\text{He}$  2 protons et 2 neutrons dans le noyau, 2 électrons dans le nuage électronique.  $^4_4\text{Be}$  4 protons et 6 neutrons dans le noyau, 4 électrons dans le nuage électronique.  $^{10}_5\text{B}$  5 protons et 5 neutrons dans le noyau, 5 électrons dans le nuage électronique. **2.** Les isotopes ont même nombre  $Z$  mais  $A$  différents donc les isotopes sont ici  $^{10}_4\text{Be}$  et  $^9_4\text{Be}$ .

**Exercice 12 p.128** **1.**  $D = 1392000 \text{ km} = 1.392 \times 10^6 \text{ km}$  on arrondit 1.392 à 1, donc  $D = 1 \times 10^6 \text{ km} = 10^6 \text{ km}$ . **2.**  $D_G = 100000 \text{ al} = 10^5 \text{ al}$ . Or  $1 \text{ al} = 9.46 \times 10^{15} \text{ m}$  (voir en bas de l'exercice) donc  $D_G = 10^5 \times 9.46 \times 10^{15} \text{ m} = 9.46 \times 10^{20} \text{ m}$  donc en arrondissant  $D_G = 10 \times 10^{20} \text{ m} = 10^{21} \text{ m}$ . On convertit en km sachant que  $1 \text{ m} = 0.001 \text{ km}$ ,  $D_G = 10 \times 10^{20} \text{ m} = 10^{21} \text{ m} = 10^{21} \times 0.001 \text{ km} = 10^{18} \text{ km}$ . **3.**  $\frac{D_G}{D} = \frac{10^{18}}{10^6} = 10^{12}$  soit 1000 milliard de fois plus grand.

**Exercice 13 p.128** **1.** interaction gravitationnelle, interaction électromagnétique, interaction forte et interaction faible. **2.a** interactions faibles et fortes. **2.b** interaction gravitationnelle.

**Exercice 14 p.128** a) et b) électromagnétique, c) faible et forte, d) gravitationnelle.

**Exercice 15 p.129** **1.** A nombre de masse,  $Z$  numéro atomique. **2.**  $^{200}_{80}\text{Hg}$  le noyau contient 80 protons,  $200 - 80 = 120$  neutrons et le nuage électronique de l'atome contient 80 électrons. **3.**  $q = Z \times e = 80 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.28 \times 10^{-17} \text{ C}$ . **4.**  $m_{\text{Atome}} = A \times m_{\text{nuclon}} + Z \times m_{\text{electron}} = 3.4 \times 10^{-25} \text{ kg}$ .

**Exercice 18 p.129** **1.a** Uranium 235 :  $Z = 92$  donc 92 protons.  $A = 235$  donc  $235 - 92 = 143$  neutrons. Uranium 238 :  $Z = 92$  donc 92 protons.  $A = 238$  donc  $238 - 92 = 146$  neutrons. **1.b** Même  $Z$  mais  $A$  différents, ce sont des isotopes. **2.a** Comme  $^4_2\text{He}$  alors  $Z = 2$ . **2.b** C'est un noyau d'hélium, donc elle se compose de 2 protons et de 2 neutrons. **3** Interactions forte et faible. **4** Elle a tendance à repousser les protons car ils ont tous une charge identique positive. **5** On éjecte deux protons et deux neutrons, le noyau comporte alors, relativement, moins de protons. Ils se repousseront moins. Avant :  $\frac{92}{146} = 63.0 \%$  Après  $\frac{90}{144} = 62.5 \%$ .

**Exercice 19 p.130** **1.** Les forces gravitationnelles sont identiques en intensité. Elles attirent mutuellement les particules. **2.** Les forces électrostatiques sont identiques en intensité. Elles repoussent mutuellement les particules qui ont même charge électrique. **3.** Force de gravitation

$$\begin{aligned}
 F_{\text{grav}} &= \frac{G \times m_{a_1} \times m_{a_2}}{d^2} \\
 &= \frac{G \times m_a^2}{d^2} \\
 &= \frac{G \times (2m_n + 2m_p)^2}{d^2}
 \end{aligned}$$

Force électrostatique

$$\begin{aligned}F_{elec} &= \frac{k \times q_1 \times q_2}{d^2} \\ &= \frac{k \times q^2}{d^2} \\ &= \frac{k \times (2e)^2}{d^2}\end{aligned}$$

Rapport des intensités des forces

$$\begin{aligned}\frac{F_{elec}}{F_{grav}} &= \frac{k \times (2e)^2}{G \times (2m_n + 2m_p)^2} \\ &= \frac{9.0 \times 10^9 \times (2 \times 1.6 \times 10^{-19})^2}{6.67 \times 10^{-11} \times (4 \times 1.7 \times 10^{-27})^2} \\ &= 3 \times 10^{35}\end{aligned}$$

Les forces d'interaction de gravitation entre deux noyaux d'hélium sont parfaitement négligeable face aux forces d'interaction électrostatique.

**Exercice 21 p.130** 1. Il évoque l'interaction électrostatique. 2.

$$\begin{aligned}F &= \frac{k \times q_1 \times q_2}{d^2} \\ &= \frac{9.0 \times 10^9 \times (6.7 \times 10^7)^2}{(0.6)^2} \\ &= 1.1 \times 10^{26} \text{ N}\end{aligned}$$

3.  $P = F = m \times g$  donc  $m = \frac{F}{g} = 1.1 \times 10^{25} \text{ kg}$ . 4.  $\frac{m}{m_T} = \frac{10^{25}}{10^{25}} = 1$  les masses sont du même ordre de grandeur.

**Exercice 22 p.131** 1. Force d'attraction universelle, c'est l'interaction gravitationnelle. 2. Au niveau des molécules et des atomes, ce sont les interactions électrostatiques qui prédominent. 3. C'est l'interaction gravitationnelle. 4. Il est trop petit, sa masse n'est pas assez importante pour que les forces gravitationnelles puissent vaincre les forces de « rigidité ». 5.

$$\begin{aligned}F_{Phobos/objet} &= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 1.1 \times 1.1 \times 10^{16}}{(11000)^2} \\ &= 6.1 \text{ mN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{Mars/objet} &= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 1.1 \times 6.4 \times 10^{23}}{(3400000)^2} \\ &= 3.7 \text{ N}\end{aligned}$$

donc  $\frac{F_{mars}}{F_{phobos}} = \frac{3.7}{0.0061} = 600$  sur Mars, le poids de l'objet est 600 fois plus important que sur Phobos.