

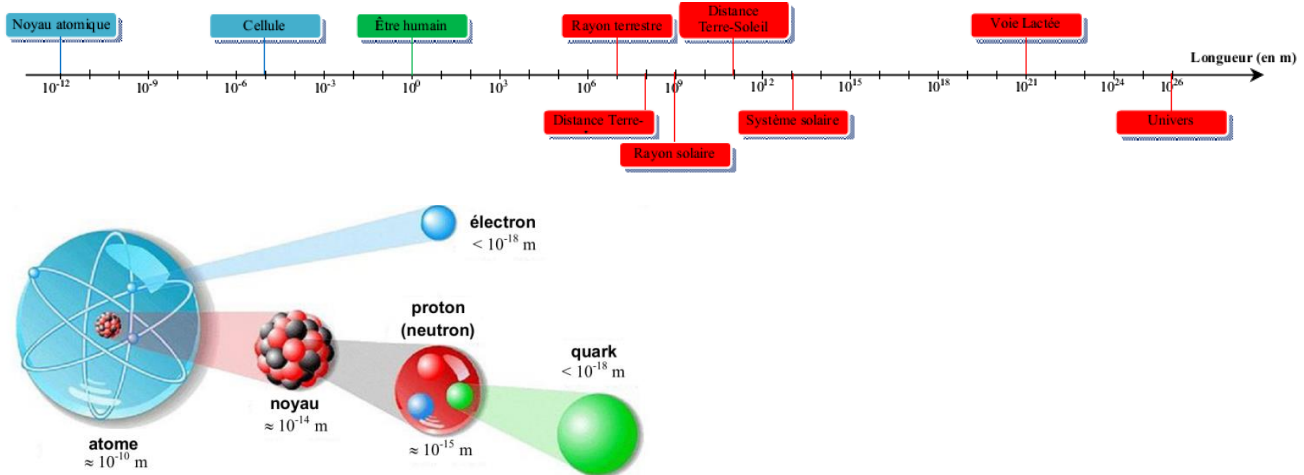


Chapitre 7: Comment expliquer la stabilité de la matière à différentes échelles ?

Pour que la matière existe à toutes les échelles (astronomiques à atomiques), il faut qu'il y ait cohésion de la matière. Cette **cohésion est assurée par trois grandes interactions fondamentales** que nous allons décrire dans ce chapitre.

I. La matière à différentes échelles : du noyau à la galaxie.

- Connaître les ordres de grandeur des dimensions des différentes structures des édifices organisés.



II. Les constituants de la matière.

1. Les particules élémentaires : électrons, neutrons, protons.

- Connaître l'ordre de grandeur des valeurs des masses d'un nucléon et de l'électron.



Tous les objets qui nous entourent (noyau, atomes, molécules, gaz, solide, liquide, organismes vivants, systèmes astronomiques) **résultent de l'arrangement de trois particules élémentaires : les protons, les neutrons et les électrons.**

Particule		masse
atome	Electron	$9,11 \cdot 10^{-31}$ kg
	noyau	Proton $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg
		Neutron $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg

Les nucléons ont une masse environ 2000 fois plus grande que celle des électrons : toute la masse de l'atome est concentrée dans le noyau.

2. La cohésion du noyau.

- Utiliser la représentation symbolique A^Z_X ; définir l'isotopie et reconnaître des isotopes.

L'assemblage de base des trois particules forme l'atome :

- le noyau** : **Z protons et A – Z neutrons.**

Le noyau est très stable. Le seul cas où le noyau est changé, c'est le cas de réaction nucléaire. Autrement, le noyau ne change pas.

- le cortège électronique** : **Z électrons**

Nous avons vu en seconde que l'atome pouvait perdre/ gagner des électrons pour former des ions. De même l'atome peut mettre en commun un ou plusieurs électrons pour former des liaisons covalentes.

Des isotopes ont même nombre de protons et même nombre d'électrons, mais des nombres de neutrons différents.

Des atomes ayant même **numéro atomique Z**, mais des **nombres de nucléons A** différents sont des isotopes.



L'élément est caractérisé par son numéro atomique **Z**.

L'élément X est le représentant de l'atome X ou de l'isotope X.

L'élément cuivre représente à la fois le métal cuivre et l'isotope cuivre 65.

3. Charge élémentaire.

- Savoir que toute charge électrique peut s'exprimer en fonction de la charge élémentaire e .



La charge d'un proton est positive et vaut $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$: c'est la charge électrique élémentaire, toutes les autres charges électriques sont des multiples. La charge d'un électron est négative et vaut $q = -e$.

L'ensemble de l'atome est donc neutre.

Charge d'un objet : électrisation.

Une tige de verre frottée par de la laine peut attirer de petits morceaux de papier posés sur un bureau en bois. On dit que le verre a été électrisé par frottement. Il est chargé d'électricité "positive" : on **arrache des électrons** de la tige qui passent sur la laine.

Le verre qui était neutre avant l'expérience possède moins de charges négatives, il est donc **chargé positivement**. (Avec l'ébonite c'est l'inverse, le bâton sera chargé négativement)

Si un objet porte une **charge négative**, il possède un **excès d'électrons**. Si un objet porte une **charge positive**, il possède un **défaut d'électrons**.

La valeur absolue de la charge de cet objet est alors nécessairement un multiple de la charge élémentaire e .

III. Les interactions qui gouvernent le monde.

- Associer, à chaque édifice organisé, la ou les interactions fondamentales prédominantes.

1. L'interaction gravitationnelle

L'interaction gravitationnelle entre deux corps ponctuels de masse m_A et m_B séparés par la distance d , est modélisée par des forces d'attraction gravitationnelle $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ dont les caractéristiques sont les suivantes :

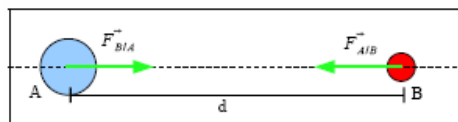
- direction : la direction de la droite (AB)
- sens : dirigées vers le centre attracteur, A pour $\vec{F}_{A/B}$ et B pour $\vec{F}_{B/A}$
- valeur (en newton, N) : $F_{A/B} = F_{B/A} = F$



$$F = \frac{G * m_1 * m_2}{d^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} F : \text{valeur commune des forces (N : newton)} \\ d : \text{distance } O_1O_2 \text{ (m)} \\ m_1 \text{ et } m_2 : \text{masse des corps (kg)} \end{array} \right.$$

G est appelée la **constante de gravitation** :

$$G = 6.67 * 10^{-11} \text{ N.kg}^{-2} . \text{m}^2$$



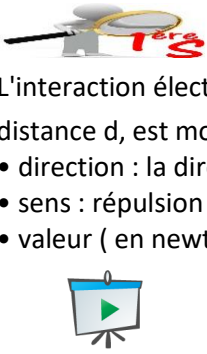
L'interaction gravitationnelle est une force attractive.

2. L'interaction électrique

C'est en 1785, que le physicien français Charles Augustin Coulomb établit expérimentalement la loi donnant la force existant entre deux charges électriques.

Pour mesurer les forces, Coulomb se servit d'une balance de torsion dans laquelle un dispositif en forme de haltère constitué d'une petite sphère métallique de charge Q_1 et d'un contrepoids est suspendu à un fil de soie.





Première S : B – Comprendre.

L'interaction électrique entre deux corps ponctuels A et B portant des charges respectives q_A et q_B , séparés par la distance d , est modélisée par des forces $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ dont les caractéristiques sont :

- direction : la direction de la droite (AB)
- sens : répulsion si q_A et q_B sont de même signe / attraction si q_A et q_B sont de signe contraire
- valeur (en newton, N) :

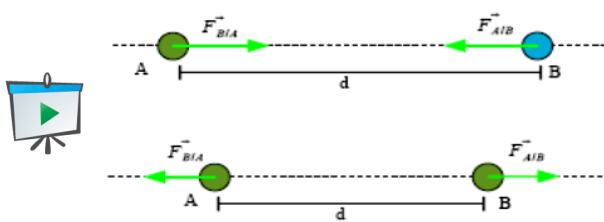
$$\|\vec{F}_{A \rightarrow B}\| = \|\vec{F}_{B \rightarrow A}\| = k \frac{q_A q_B}{AB^2}$$

avec forces en N
charges en C (Coulomb)
distance en m
 $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{C}^{-2} \cdot \text{m}^2$

La norme d'une force étant une valeur positive, la loi de coulomb s'énonce en prenant la valeur absolue des charges, soit :

$$F = k \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}$$

Comment représenter le sens de la force en fonction du signe de la charge ?



Charges électriques différentes

Charges électriques de même signe

3. L'interaction forte.

Justifions son existence : que se passe-t-il au niveau du noyau atomique, entre deux protons :

Ils s'exercent entre eux une **interaction gravitationnelle, négligeable** au niveau microscopique et une **force électrique répulsive** d'un ordre de grandeur de $2 \cdot 10^2 \text{ N}$

Si on compare cette force, à la force qui lie un électron d'un proton dans l'atome d'hydrogène, on remarque que cette force répulsive est dix milliards de fois plus intense.

En toute logique, le noyau d'un atome devrait donc exploser. **D'où l'interaction forte !**

C'est une **force attractive** d'une valeur **mille fois plus grande** que la force répulsive ci-dessus.

Elle s'exerce **indifféremment entre nucléons** mais pas entre électron et nucléon.

Sa portée n'excède pas la taille du noyau.

Les effets de l'interaction forte se font sentir entre particules composées de quarks (les hadrons), comme par exemple entre les protons, les neutrons. L'interaction forte possède une propriété très particulière : elle se comporte à l'inverse de l'interaction électromagnétique ou de la gravitation.

En effet, dans le cas de ces interactions familières, la force diminue avec la distance entre les objets en interaction (l'expression de la valeur de la force fait intervenir un terme en $1/d^2$).

Au contraire, l'interaction forte est une force qui augmente avec la distance.

Donc plus les quarks sont proches les uns des autres moins ils interagissent. Deux quarks infiniment proches n'interagissent plus du tout entre eux: ils sont libres pour une distance infiniment proche de zéro. Ce comportement pourrait être comparé à celui de deux billes jointes par un ressort: plus les billes sont éloignées l'un de l'autre plus le ressort tente de les rapprocher alors que si les deux billes sont l'une contre l'autre le ressort n'agit plus.

L'interaction forte est l'interaction fondamentale qui a l'intensité la plus importante, ce qui permet de contrer la répulsion électrostatique entre les protons dans les noyaux atomiques.



IV. Les interactions fondamentales et la matière.

A l'échelle du noyau

Les trois interactions coexistent mais l'interaction gravitationnelle est négligeable.

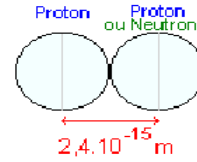
L'interaction forte permet de contrer la répulsion électrostatique entre les protons dans les noyaux atomiques.

Soit un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ (2 protons, 2 neutrons). Déterminons la valeur des interactions gravitationnelles et électriques qui existent entre les différentes particules de ce noyau :

Interaction gravitationnelle :

$$F_{p/p} = \frac{G.m_p^2}{d^2} \Rightarrow F_{p/p} = \frac{6,67.10^{-11} \cdot (1,67.10^{-27})^2}{(2,4.10^{-15})^2}$$

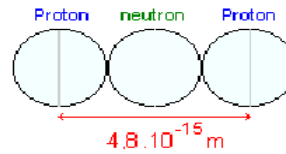
$$\Rightarrow F_{p/p} = 3,23.10^{-35} \text{ N}$$



Interaction électrique :

$$F'_{p/p} = \frac{K|q_A \cdot q_B|}{d^2} \Rightarrow F'_{p/p} = \frac{9.10^9 \cdot (1,6.10^{-19})^2}{(4,8.10^{-15})^2}$$

$$\Rightarrow F'_{p/p} = 10 \text{ N}$$



La force de répulsion électrique est très supérieure à la force d'attraction gravitationnelle. La cohésion des noyaux ne peut être due aux deux forces précédentes (les noyaux se disloqueraient).

La cohésion des noyaux est donc due à l'interaction forte.

A l'échelle atomique et humaine

L'interaction électromagnétique intervient dans quasiment tous les phénomènes de la vie courante.

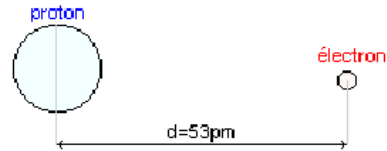
Soit un atome d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$.

Déterminons la valeur des interactions gravitationnelles et électriques qui existent entre le noyau et l'électron de cet atome.

Interaction gravitationnelle :

$$F_{p/e} = \frac{G.m_p.m_e}{d^2} \Rightarrow F_{p/p} = \frac{6,67.10^{-11} \cdot (1,67.10^{-27}) \cdot (9,11.10^{-31})}{(53.10^{-12})^2}$$

$$\Rightarrow F_{p/p} = 3,61.10^{-47} \text{ N}$$



Interaction électrique :

$$F'_{p/e} = \frac{K|q_A \cdot q_B|}{d^2} \Rightarrow F'_{p/p} = \frac{9.10^9 \cdot (1,6.10^{-19})^2}{(53.10^{-12})^2}$$

$$\Rightarrow F'_{p/p} = 8,20.10^{-8} \text{ N}$$

La force d'attraction électrique est très supérieure à la force d'attraction gravitationnelle. **L'interaction électrique assure la cohésion de la matière à l'échelle atomique.**

A l'échelle astronomique

L'interaction gravitationnelle intervient de manière prépondérante (trajectoires des planètes...).