

CHAPITRE 11 : COHÉSION DU NOYAU ET INTERACTIONS FONDAMENTALES

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers

Mars 2014

I. Constitution de la matière

1. Atomes et particules élémentaires

- Le proton :

masse : $m_p = 1,67262 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

charge électrique : $q_p = e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

notation : ${}_1^1\text{H}$ ou ${}_1^1\text{p}$

I. Constitution de la matière

1. Atomes et particules élémentaires

- Le neutron :

masse : $m_n = 1,67494 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

charge électrique : $q_n = 0 \text{ C}$

notation : ${}_0^1\text{n}$

I. Constitution de la matière

1. Atomes et particules élémentaires

- L'électron :

masse : $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

charge électrique : $q_e = -e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

notation : ${}^0_{-1}\text{e}$

remarque : $m_e \simeq \frac{m_{nuc}}{2000}$

I. Constitution de la matière

2. Structure de l'atome

- La masse de l'atome est concentrée dans son noyau ($m_{\text{atome}} \simeq m_{\text{noyau}}$)
- Le noyau est environ 100 000 fois plus petit que l'atome
- La structure d'un atome est donc lacunaire (95% de vide en volume)
 - ➡ le noyau concerne la physique nucléaire
 - ➡ les électrons de cœur concernent la physique subatomique
 - ➡ les électrons externes concernent la chimie

II. Interactions fondamentales

1. Interaction gravitationnelle

a. Nature de l'interaction

- elle s'exerce entre corps massifs
- elle est toujours attractive

II. Interactions fondamentales

1. Interaction gravitationnelle

b. Loi de Newton

Soient A et B deux corps de masse m_A et m_B , à répartition sphérique de masse, et dont les centres sont séparés par une distance d . Alors le corps A exerce sur le corps B une force $\overrightarrow{F_{A/B}}$ telle que :

- ➡ point d'application : le centre de B
- ➡ direction : la droite (AB) reliant les centres des deux corps
- ➡ sens : de B vers A
- ➡ Intensité :
$$F_{A/B} = G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2}$$

II. Interactions fondamentales

1. Interaction gravitationnelle

b. Loi de Newton

- G est la constante de gravitation universelle et vaut
 $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
- Les masses sont exprimées en kilogrammes kg
- La distance est exprimée en mètres m
- Réciproquement, le corps B exerce sur le corps une force de même intensité, même direction mais de sens opposé : $\boxed{\overrightarrow{F_{B/A}} = -\overrightarrow{F_{A/B}}}$

II. Interactions fondamentales

1. Interaction gravitationnelle

b. Loi de Newton

- Exemple d'application : calculer l'intensité de la force d'interaction gravitationnelle $F_{p/n}$ exercée par un proton sur un neutron considérés comme jointifs dans un noyau sachant que $m_p = m_n = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg et que le rayon d'un nucléon vaut environ $r_{nuc} = 1,2$ fm = $1,2 \cdot 10^{-15}$ m

$$\bullet F_{p/n} = G \times \frac{m_p \times m_n}{(2r_{nuc})^2} = G \times \frac{m_{nuc}^2}{4 \times r_{nuc}^2}$$

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

- L'intensité de cette force est très faible. Suffit-elle à assurer la cohésion du noyau atomique ?

II. Interactions fondamentales

1. Interaction gravitationnelle

c. Remarques

- La portée de l'interaction gravitationnelle est infinie mais l'intensité de la force décroît rapidement quand la distance entre les deux corps augmente
- L'interaction gravitationnelle ne présentera une intensité appréciable que si au moins l'une des deux masses est très importantes (donc surtout à l'échelle cosmique)

II. Interactions fondamentales

2. Interaction électromagnétique

a. Nature de l'interaction

- ▀ elle s'exerce entre corps portant une charge électrique (si les charges sont immobiles, l'interaction est purement électrique alors que si les charges sont en mouvement, du magnétisme est associé)
- ▀ elle est soit attractive (entre corps de charges de signe opposé), soit répulsive (entre corps de charges de même signe)

II. Interactions fondamentales

2. Interaction électromagnétique

b. Loi de Coulomb

Soient A et B deux corps de charge q_A et q_B , et dont les centres sont séparés par une distance d . Alors le corps A exerce sur le corps B une force $\overrightarrow{F_{A/B}}$ telle que :

- ➡ point d'application : le centre de B
- ➡ direction : la droite (AB) reliant les centres des deux corps
- ➡ sens : de B vers A si les charges sont de signe contraire, de A vers B si les charges sont de même signe
- ➡ Intensité :
$$F_{A/B} = k \times \frac{|q_A \times q_B|}{d^2}$$

II. Interactions fondamentales

2. Interaction électromagnétique

b. Loi de Coulomb

- k est la constante électrique (elle dépend du milieu) et vaut, dans le vide ou l'air : $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-4} \cdot \text{A}^{-2}$
- Les charges électriques sont exprimées en coulombs C
- La distance est exprimée en mètres m
- Réciproquement, le corps B exerce sur le corps une force de même intensité, même direction mais de sens opposé : $\boxed{\overrightarrow{F_{B/A}} = -\overrightarrow{F_{A/B}}}$

II. Interactions fondamentales

2. Interaction électromagnétique

b. Loi de Coulomb

- Exemple d'application : calculer l'intensité de la force d'interaction électrique $F_{p/p}^{él}$ exercée par un proton sur un proton considérés comme jointifs dans un noyau sachant que $q_p = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ et que le rayon d'un nucléon vaut environ $r_{nuc} = 1,2 \text{ fm} = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$

- $$F_{p/p}^{él} = k \times \frac{q_p \times q_p}{(2r_{nuc})^2} = k \times \frac{q_p^2}{4 \times r_{nuc}^2}$$

$$F_{p/n} = 9,0 \cdot 10^9 \times \frac{(1,602 \cdot 10^{-19})^2}{4 \times (1,2 \cdot 10^{-15})^2} = 4,0 \cdot 10^1 \text{ N} = 40 \text{ N}$$

- L'intensité de cette force répulsive est bien plus élevée que celle de l'interaction gravitationnelle attractive entre nucléons (environ 10^{36} fois plus élevée). Ces deux seules interactions ne permettent donc pas de rendre compte de la cohésion des noyaux atomiques.

II. Interactions fondamentales

2. Interaction électromagnétique

c. Remarques

- La portée de l'interaction électromagnétique est infinie mais l'intensité de la force décroît rapidement quand la distance entre les deux corps augmente
- L'interaction électromagnétique assure la cohésion de la matière à l'échelle atomique, moléculaire et jusqu'à notre échelle.
- La plupart des objets étant électriquement neutres ou proche de la neutralité à l'échelle cosmique, ce n'est pas cette interaction qui est à l'œuvre dans la cohésion de la matière à l'échelle de l'Univers

II. Interactions fondamentales

2. Interaction électromagnétique

c. Remarques

- **Conclusion** : notre environnement immédiat est dominé par l'interaction électromagnétique tandis qu'à l'échelle de l'Univers, c'est l'interaction gravitationnelle qui domine.

EXERCICES POUR LE 11/03/2014 : PP149-150 n°25, 32, 33, 34

II. Interactions fondamentales

3. Interaction nucléaire forte

- Elle est issue d'une théorie récente (1967-1970) dont la nécessité est apparue en 1911 lors de la découverte des noyaux atomiques par Ernest RUTHERFORD.
- Elle est responsable de la cohésion des quarks au sein des nucléons et de la cohésion des nucléons au sein du noyau des atomes.
- Sa portée est très faible, de l'ordre de $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$
- Elle est 100 à 1 000 fois plus intense que l'interaction électromagnétique à même distance.
- Elle est responsable de l'existence de la matière telle que nous la connaissons ainsi, par exemple, que de la possibilité de faire fusionner deux noyaux (étoiles, bombe H, centrales nucléaires du futur...)

II. Interactions fondamentales

4. Interaction faible

- Elle est responsable de certains phénomènes de radioactivité comme les désintégrations de type β^+ et β^- .
- Sa portée est très faible, de l'ordre de $1/100$ de la taille d'un nucléon.
- La première détection d'un neutrino en 1958, soit presque 30 ans après la prévision de son existence, a été un pas décisif dans l'élaboration de la théorie électrofaible qui explique cette interaction et l'unifie à l'interaction électromagnétique.