

Cohésion des noyaux d'atomes

Le tableau périodique des éléments chimiques recense tous les éléments chimiques de l'univers. Les plus gros d'entre eux, quoique instables, ne comptent pas plus de 250 nucléons. On cherche à comprendre à travers l'étude qui suit :

- L'origine de la cohésion des noyaux
- les raisons pour lesquelles il existe une taille limite des noyaux
- la cohésion des corps célestes que sont les étoiles à neutrons

Document 1 : les 4 types d'interaction qui gouvernent l'univers

Interaction	Portée (ordre de grandeur)	Comparaison Intensité*	Champ d'action
forte	10^{-15} m	1	Attractive
électromagnétique	infinie	10^{-3}	Attractive ou répulsive
gravitationnelle	infinie	10^{-39}	Attractive
faible	10^{-17} m	10^{-6}	-

* La comparaison des intensités est donnée pour 2 protons distants d'environ 2 fm .

Document 2 : propriétés des nucléons

Propriétés du proton : masse : $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ Charge : $q_p = e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$ Rayon : $r_p = 0,88 \text{ fm}$	Propriétés du neutron : masse : $m_n = m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ Charge : $q_n = 0$ Rayon : $r_n = r_p = 0,88 \text{ fm}$
---	---

Document 3 : Le noyau atomique

Dès qu'un noyau possède un nombre de nucléons trop grand ($A > 250$), il a tendance à ne pas exister. La raison profonde de ce phénomène vient du fait que l'interaction forte est de très courte portée, alors que les forces électriques portent beaucoup plus loin. En particulier une grande assemblée de protons va ressentir de façon très intense la répulsion électrique, mais de façon très amoindrie l'attraction de l'interaction forte. Un noyau lourd va donc se briser instantanément.

La nature pourtant ne manque pas de ressources, il existe des noyaux super lourds, vraiment étranges car constitués uniquement de neutrons : ce sont les étoiles à neutrons. Dans celles-ci, la gravitation joue un rôle prépondérant. Elle est si intense que les atomes sont comprimés à un point tel qu'ils s'interpénètrent jusqu'à ce que leurs noyaux se touchent. Tous les protons et les électrons se transforment en neutrons. Cette configuration devient stable car la répulsion coulombienne est inopérante : ce type d'étoile, de 10 km de rayon, est en fait un gigantesque noyau de masse volumique voisine 100 millions de tonnes par centimètre cube.

Encyclopaedia Universalis 1999, « Le noyau atomique ».

Données :

Volume d'une sphère de rayon R : $V = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3$

Constante diélectrique : $K = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$

Constante gravitationnelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

Questions :

1. Calculer la valeur de la force d'interaction électrique \vec{F}_E s'exerçant entre ces deux protons collés l'un à l'autre. Représenter cette interaction sur un schéma.
2. D'après le document 1, quelle interaction permet cependant d'expliquer la cohésion du noyau. Justifier.
Déduire des informations données l'ordre de grandeur de la force forte qui existe entre ces deux protons.
3. Calculer la valeur des forces d'interaction gravitationnelle \vec{F}_g existant entre deux protons collés l'un à l'autre. Justifier la valeur 10^{-39} annoncée dans le document 1.
4. On cherche à vérifier la première phrase du document 3 : un noyau constitué de plus de 250 nucléons ne peut exister.
 - a. Calculer le volume d'un nucléon.
 - b. Calculer le volume d'un noyau qui compterait 250 nucléons
 - c. En déduire la taille de ce noyau. Conclure quant l'existence potentielle d'un noyau plus gros.
 - d. Déterminer la valeur de l'interaction forte entre 2 protons séparés de la distance calculée.
Expliquer la démarche.
5. Quel type d'interaction assure la cohésion d'une étoile de ce type ? Justifier.
6. En assimilant l'étoile à une sphère, déterminer la masse d'une étoile à neutron à partir des informations données dans le document 3.
7. Déterminer le nombre de nucléons contenus dans cette étoile.
8. Calculer la gravité à la surface de cette étoile et comparer à la gravité sur terre.