

La physique nucléaire

Chapitre 12

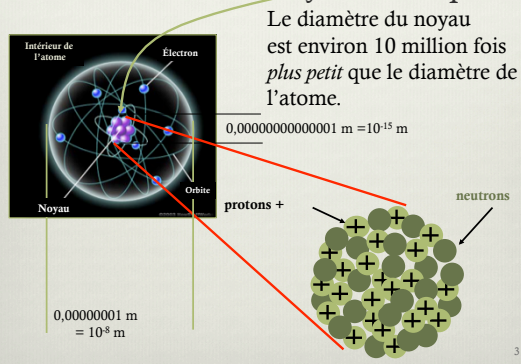
1

Points essentiels

- ❖ La structure du noyau (section 12.1)
 - ❖ Le numéro atomique
 - ❖ Le nombre de masse
 - ❖ Les isotopes
- ❖ L'énergie de liaison (section 12.2)
 - ❖ Le défaut de masse
 - ❖ L'énergie de liaison par nucléons

2

La structure du noyau atomique



3

Le noyau atomique

- ❖ La force attractive entre les protons (chargés positivement) et les électrons (chargés négativement) assure la cohésion atomique
- ❖ les neutrons et les protons possèdent environ la même masse, et sont chacun près de 2000 fois plus massif que les électrons
- ❖ → on retrouve 99,9% de la masse atomique dans le noyau
- ❖ les neutrons ne sont pas chargés → quel rôle jouent-ils ???

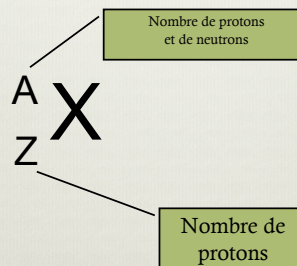
4

Terminologie

- ❖ *Le numéro atomique* Z = le nombre de protons dans le noyau, ce nombre égal le nombre d'électrons atomiques, pour un atome neutre. Le numéro atomique est caractéristique de chaque élément.
- ❖ N = le nombre de neutrons dans le noyau. Les *isotopes* d'un élément donné sont des atomes dont les noyaux ont le même nombre de protons, mais des nombres différents de neutrons.

5

- ❖ *Le nombre de masse atomique* $A = Z + N$ = le nombre de protons + neutrons, A détermine la masse du noyau
- ❖ X le symbole chimique de l'élément correspondant



Quelques exemples

- ❖ Hydrogène ${}^1_1\text{H}$ 1 proton, 0 neutron
- ❖ Deutérium ${}^2_1\text{H}$ 1 proton, 1 neutron
- ❖ Tritium ${}^3_1\text{H}$ 1 proton, 2 neutrons
- ❖ Carbone ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{13}_6\text{C}$ 6 protons, 6 ou 7 neutrons
- ❖ Uranium-235 ${}^{235}_{92}\text{U}$ soit $235 - 92 = 143$ neutrons

Il s'agit de l'uranium *enrichi*, l'uranium naturel est composé à 99,3% d' U^{238} et ne contient que 0,7% de cet isotope fissile.

L'unité de masse atomique

Par définition, la masse de l'atome neutre de l'isotope ${}^{12}\text{C}$ du carbone est égale exactement à 12 u .

| | u | kg | MeV / c² |
|----------|-----------|---------------------------|----------------------------|
| u | 1 | $1,66055 \times 10^{-27}$ | 931,5 |
| électron | 0,0005486 | $9,10953 \times 10^{-31}$ | 0,511003 |
| proton | 1,007276 | $1,67265 \times 10^{-27}$ | 938,280 |
| neutron | 1,008665 | $1,67496 \times 10^{-27}$ | 939,573 |

$E = mc^2$ $m = E / c^2$ en MeV / c², unité qui permet de connaître directement l'énergie associée à une particule

Calcul de l'unité de masse atomique

- différencier nombre de masse (nombre de nucléons) et masse exacte (masse atomique)
- choix d'une unité de masse mieux adaptée que le kg (SI) : unité de masse atomique u

par définition
 $1u = 1/12$ de
l'atome de ${}^{12}\text{C}$

Donc la masse exacte du ${}^{12}\text{C} = 12,000000\text{ u}$, et 1 mole d'atomes de ${}^{12}\text{C}$ a, par définition, une masse de 0,012 kg, elle contient $6,022 \times 10^{23}$ atomes de carbone

$$1u = \frac{1 \times 12 \times 10^{-3}}{12 \times 6,022 \times 10^{23}} = 1,66055 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Le rayon d'un noyau

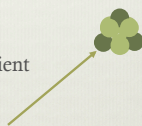
- ❖ L'analyse de Rutherford a permis d'établir que le noyau a un rayon voisin de 10^{-14} m. Des expériences plus élaborées ont permises de démontrer qu'il existe un lien entre leur rayon R et le nombre de masse A :



- ❖ $R = 1,2 A^{1/3} \text{ fm}$

Quelle force assure la cohésion du noyau? → La « colle » nucléaire

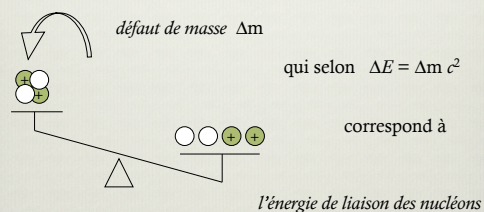
- ❖ Les protons dans le noyau sont soumis à une force de répulsion électrique
- ❖ Il doit exister une attraction encore plus forte qui les maintient ensemble
- ❖ → la force nucléaire (colle)
- ❖ Voilà l'utilité des neutrons



La force nucléaire

- ❖ En plus de la force de répulsion entre les protons, une force d'attraction de courte portée s'exerce entre les différents nucléons.
- ❖ Cependant, la force nucléaire proton-proton n'est pas suffisante pour maintenir ensemble les nucléons, ainsi les neutrons ajoutent plus de *colle nucléaire* sans force répulsive.
- ❖ Les noyaux stables possèdent autant (sinon plus) de neutrons que de protons.

Le défaut de masse



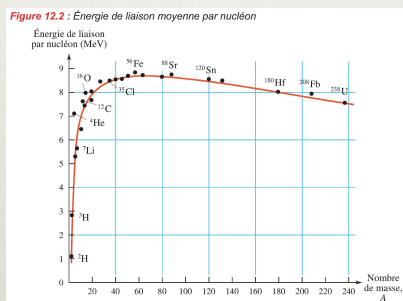
13

Énergie de liaison par nucléons

| | E MeV | E libérée/mole MeV | E libérée/mole J |
|-------------------------|------------|-------------------------|-----------------------|
| ${}^4_2\text{He}$ | 7,07 | 170×10^{23} | $2,7 \times 10^{12}$ |
| ${}^{238}_{92}\text{U}$ | 7,57 | 106×10^{25} | $1,7 \times 10^{14}$ |
| ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ | 8,79 | 296×10^{24} | $4,74 \times 10^{13}$ |

1 MeV = $1,6 \cdot 10^{-13}$ J

Énergie de liaison par nucléons



Exemple

❖ Quelle est l'énergie de liaison du ${}^{12}\text{C}$?

$$\text{Masse du } {}^{12}\text{C} = 12,000 \text{ u (par définition)} \rightarrow 1 \text{ u} \rightarrow \text{MeV}/c^2 \\ = 12 \cdot 931,5 \text{ MeV}/c^2 = 11178,0 \text{ MeV}/c^2$$

$$\text{Masse de 6 protons} = 6 \cdot 938,3 \text{ MeV}/c^2$$

$$\text{Masse de 6 neutrons} = 6 \cdot 939,6 \text{ MeV}/c^2$$

$$\text{Masse de 6 électrons} = 6 \cdot 0,511003 \text{ MeV}/c^2 \text{ (presque négligeable)}$$

$$\text{Masse totale} = 11270,5 \text{ MeV}/c^2$$

$$\text{La différence nous donne l'énergie de liaison} = 92,46 \text{ MeV}/c^2 \times c^2$$

Soit environ 7,7 MeV par nucléon

Calcul de l'énergie de liaison d'un nuclide

$$E_b(Z,N) = [ZM_p + NM_n - M(Z,N)] \cdot c^2$$

Où $M(Z,N)$ est la masse du noyau en question

Remarque: Pour calculer la masse d'un noyau $M(Z,N)$, il faut soustraire $Z M_e$ de la masse de l'atome.

Exercice 15

❖ Calcul de l'énergie requise pour enlever 1 neutron au ${}^7_3\text{Li}$.

❖ A) Calcul de la masse avant: ${}^7_3\text{Li} \rightarrow {}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n}$

$$\text{masse atomique du: } {}^7_3\text{Li} \rightarrow 7,016\,003 \text{ u}$$

❖ B) Calcul de la masse après

$$\text{masse atomique du: } {}^6_3\text{Li} \rightarrow 6,015\,121 \text{ u}$$

$$\text{masse du neutron: } 1,008\,665 \text{ u}$$

$$\text{masse totale: } 7,023\,786 \text{ u}$$

Exercice 15 (suite)

❖ c) Calcul de la différence de masse:

$$7,016\,003\,u - 7,023\,786\,u = -0,007\,783\,u$$

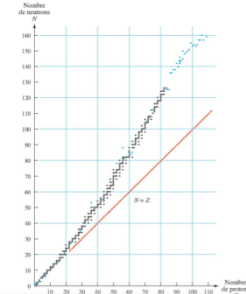
❖ B) Calcul de l'énergie

On doit donc fournir (car $Q < 0$) $0,007\,783 \times 931,5\,\text{Mev}$

Soit: 7,25 Mev !!

Stabilité nucléaire

Figure 12.3 : Isotopes stables et instables



Travail personnel

- ❖ Faire les exemples 12.1, 12.2 et 12.3
- ❖ Répondre à la question 1
- ❖ Faire les exercices 5 et 11.
- ❖ Aucun problème