

**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

Le diamètre du noyau est environ 10 million fois plus petit que le diamètre de l'atome.

0,000000000000001 m =  $10^{-15}$  m

0,00000001 m =  $10^{-8}$  m

protons +      neutrons

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

- ❖  $A$  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

$A$      $X$      $Z$

Nombre de protons et de neutrons

Nombre de protons

## 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' ${}^{238}\text{U}$  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  $u$ .

	<b><math>u</math></b>	<b>kg</b>	<b>Mev / <math>c^2</math></b>
<b><math>u</math></b>	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 /  $c^2$ , 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  $u$ , 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  $A$  :

$$\diamond R = 1,2 A^{1/3} \text{ fm}$$



## 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

defaut de masse  $\Delta m$

qui selon  $\Delta E = \Delta m c^2$

correspond à

*l'énergie de liaison des nucléons*

13

## Énergie de liaison par nucléons

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

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

## Énergie de liaison par nucléons

Figure 12.2 : Énergie de liaison moyenne par nucléon

Nombre de masse ( $A$ )	Énergie de liaison par nucléon (MeV)
2	7,1
3	7,0
4	7,1
5	7,2
6	7,3
7	7,4
8	7,5
10	7,6
12	7,7
14	7,8
16	7,9
18	8,0
20	8,1
22	8,2
24	8,3
26	8,4
28	8,5
30	8,6
32	8,7
34	8,8
36	8,7
38	8,6
40	8,5
42	8,4
44	8,3
46	8,2
48	8,1
50	8,0
52	7,9
54	7,8
56	7,7
58	7,6
60	7,5
62	7,4
64	7,3
66	7,2
68	7,1
70	7,0
72	6,9
74	6,8
76	6,7
78	6,6
80	6,5
82	6,4
84	6,3
86	6,2
88	6,1
90	6,0
92	5,9
94	5,8
96	5,7
98	5,6
100	5,5
102	5,4
104	5,3
106	5,2
108	5,1
110	5,0
112	4,9
114	4,8
116	4,7
118	4,6
120	4,5
122	4,4
124	4,3
126	4,2
128	4,1
130	4,0
132	3,9
134	3,8
136	3,7
138	3,6
140	3,5
142	3,4
144	3,3
146	3,2
148	3,1
150	3,0
152	2,9
154	2,8
156	2,7
158	2,6
160	2,5
162	2,4
164	2,3
166	2,2
168	2,1
170	2,0
172	1,9
174	1,8
176	1,7
178	1,6
180	1,5
182	1,4
184	1,3
186	1,2
188	1,1
190	1,0
192	0,9
194	0,8
196	0,7
198	0,6
200	0,5
202	0,4
204	0,3
206	0,2
208	0,1
210	0,0
212	-0,1
214	-0,2
216	-0,3
218	-0,4
220	-0,5
222	-0,6
224	-0,7
226	-0,8
228	-0,9
230	-1,0
232	-1,1
234	-1,2
236	-1,3
238	-1,4
240	-1,5

## Exemple

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

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

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

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

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

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

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

$$E_l(Z, N) = [ZM_p + NM_n - M(Z, N)] * c^2$$

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  ${}^7\text{Li}$ .
- A) Calcul de la masse avant:  ${}^7\text{Li} \rightarrow {}^6\text{Li} + {}^1\text{n}$
- masse atomique du:  ${}^7\text{Li} \rightarrow 7,016\,003 \text{ u}$
- B) Calcul de la masse après
- masse atomique du:  ${}^6\text{Li} \rightarrow 6,015\,121 \text{ u}$
- masse du neutron:  $1,008665 \text{ u}$
- masse totale:  $7,023\,786 \text{ u}$

## Exercice 15 (suite)

- ❖ c) Calcul de la différence de masse:

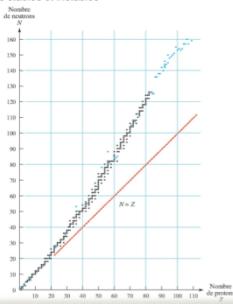
$$7,016\,003 \text{ u} - 7,023\,786 \text{ u} = -0,007\,783 \text{ u}$$

- ❖ 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