

Niveaux: SM PC SVT

Matière: Physique

PROF: Zakaryae Chriki

Résumé N:6

## Noyaux, Masse, Energie



### 1. Equivalence Masse-Energie (Relation de d'Einstein)

En 1905, Albert Einstein postulat l'équivalence entre la masse et l'énergie :

Toute particule de masse  $m$ , au repos, possède une énergie appelé énergie de masse, notée  $E$ .

Energie de masse : énergie potentielle que tout système matériel, de masse  $m$ , possède

$$E = m \cdot C^2$$

avec

$E$  : énergie en joule (J)

$m$  : la masse du corps au repos (Kg)

$C$  : la célérité de la lumière dans le vide (m/s),  $C = 299792458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$



### 2. Des autres unités

#### a. L'unité de masse atomique

En physique nucléaire, on exprime la masse d'un noyau ou d'un atome en **unité de masse atomique**, de symbole  $u$  :

$$1u = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

#### b. Unité d'énergie.

En physique nucléaire l'unité joule est unité mal adaptée à la description des transferts dénergétiques. Pour cela on emploie l'**électronvolt (eV)** et ces multiples.

$$1 \text{ eV} = 1,602177 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ MeV} = 1,602177 \times 10^{-13} \text{ J}$$

#### c. Énergie correspond à la masse atomique.

D'après la relation d'Einstein  $E = m \cdot c^2$  pour une masse de  $1u$  on a  $E = 1,66054 \times 10^{-27} \times (2,9979 \times 10^8)^2 = 1492,42 \times 10^{-15} \text{ J}$

$$E = \frac{1492,42 \times 10^{-15}}{1,602177 \times 10^{-19}} = 931,5 \text{ MeV} \quad \text{Donc} \quad 1u = 931,5/c^2$$

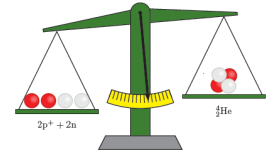
### 3. Défaut de masse :

Le **défaut de masse d'un noyau  $\Delta m$**  est la différence entre la somme des masses de ses nucléons pris séparément et la masse du noyau.

Plu généralement : pour un noyau  ${}_Z^AX$ , le défaut de masse  $\Delta m$  est :  $\Delta m = [Zm_p + Nm_n] - m({}_Z^AX)$

Où  $m_p$  et  $m_n$  sont respectivement la masse d'un proton et la masse d'un neutron.  $\Delta m$  est toujours positifs

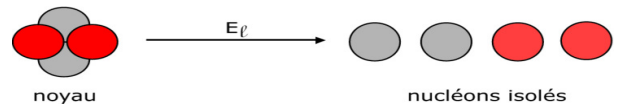
Défaut de masse



### 4. Energie de liaison d'un noyau :

L'**énergie de liaison  $E_l$**  d'un noyau atomique est l'énergie qu'il faut fournir au noyau au repos pour le dissocier en ses nucléons constitutifs pris au repos. ( $E_l$  est une grandeur positive.)

$$E_l = \Delta m(X) \cdot c^2 = [(Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n) - m({}_Z^AX)] \cdot C^2$$



### 5. Energie de liaison par nucléon

L'énergie de liaison par nucléon : Pour comparer la stabilité de différents noyaux, il faut utiliser les énergies de liaison par nucléon, soit

$$\mathcal{E} = \frac{E_l}{A} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} E_l : \text{Energie de liaison} \\ A : \text{Nombre de nucléons} \end{array}$$

### N.B

Un noyau est d'autant plus stable que son énergie de liaison par nucléon est grande.

### 6. Réaction nucléaire :

Soit l'équation de la réaction nucléaire :  ${}_Z^AX_1 + {}_Z^AX_2 \rightarrow {}_Z^AX_3 + {}_Z^AX_4$

$\Delta m$  : la variation de masse entre les produits et les réactifs de la transformation nucléaire

$$\Delta m = \sum m_{\text{Produits}} - \sum m_{\text{Réactifs}}$$

$$\Delta m = m(X_3) + m(X_4) - (m(X_1) + m(X_2))$$

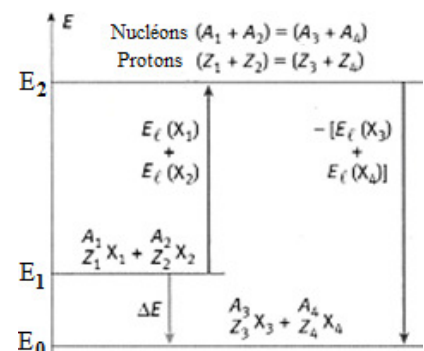
Expression d' énergie de la transformation (désintégration ou de la réaction)

$$\Delta E = [m(X_3) + m(X_4)] - [m(X_1) + m(X_2)] \cdot c^2$$

Autre expression de  $E_0$  en fonction des énergies de liaisons

$$\Delta E = \sum E_l (\text{Réactifs}) - \sum E_l (\text{Produits})$$

$$\Delta E = [E_l(X_1) + E_l(X_2)] - [E_l(X_3) + E_l(X_4)]$$



Et l'énergie libérée par un noyau au cours de la réaction est  $E_{\text{Libérée}} = |E_0|$

Au cours d'une transformation nucléaire, une variation de masse  $\Delta m$ , correspond à une variation d'énergie  $\Delta E$  telle que :  $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

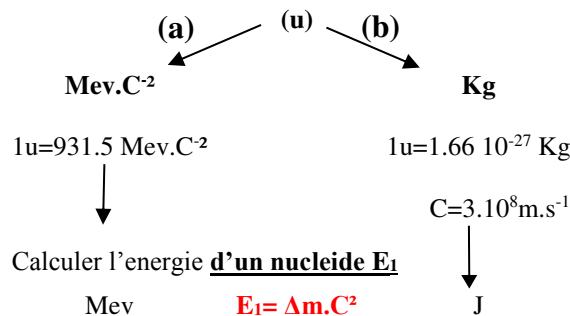
☞ Premier cas : la variation de la masse est négative  $\Delta m < 0$  donc  $\Delta E < 0$  négative aussi i.e par convention, le système libère une énergie au milieu extérieur.  $E_{\text{libérée}} = |\Delta E|$  (réaction exothermique)

☞ Deuxième cas : la variation de masse est positive  $\Delta m > 0$  donc  $\Delta E$  est positive aussi, i.e que le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur  $E_{\text{consommée}} = |\Delta E|$  (réaction endothermique)

**\*\***

## Comment calculer $E_1 = m \cdot c^2$ l'énergie d'un noyau

- (1) Déterminer l'expression de  $\Delta m$
- (2) Calculer  $\Delta m$  en unité de masse atomique (u)  
 $\Delta m = \dots\dots\dots (u)$
- (3) Convertir (u) à l'unité adéquate



- (a) Inutile de remplacer C par sa valeur vu qu'elle se simplifie et numériquement  $E_1 = \Delta m$  mais avec des unités différentes
- (b) Obligation de remplacer C par sa valeur  $C = 3.10^8 m$

**\*\***

## Comment calculer $E_T$ l'énergie totale d'une masse m

Il faut déterminer N le nombre de noyau dans la masse m et  $E_T = N \cdot E_1$

On détermine N par

$$\frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} \text{ et } N = \frac{m}{M} \cdot N_A$$

M : masse molaire (g/mol)  
m : masse d'un échantillon (g)  
N<sub>A</sub> : Nombre d'Avogadro (mol<sup>-1</sup>)

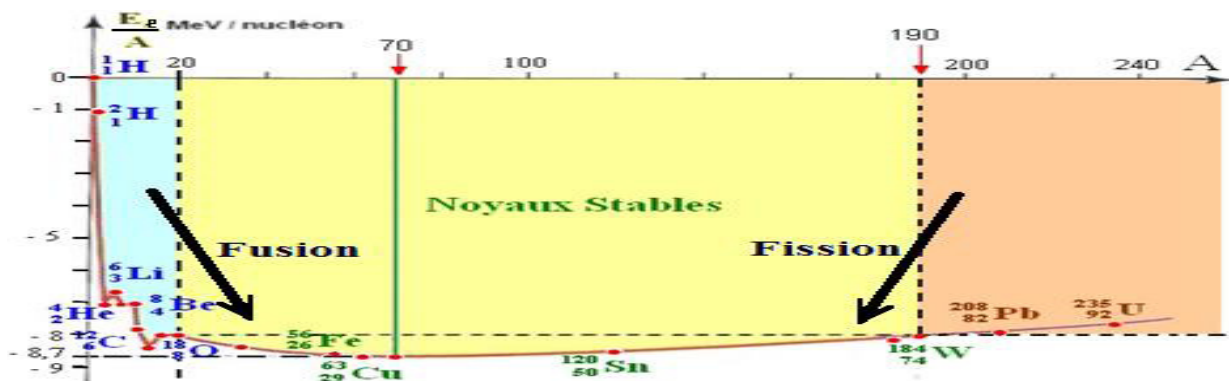
$$N = \frac{m}{m_1}$$

m : masse d'un échantillon (g)  
m<sub>1</sub> : masse d'un noyau (u)

**NB :**  
Les deux masses m et m<sub>1</sub> à convertir en Kg  
1u=1.666 10<sup>-19</sup>Kg

## 7. Stabilité des noyaux et Courbe d'Aston.

- Un noyau atomique est d'autant plus stable que son énergie de liaison par nucléon est grande.
- La courbe d'Aston est la représentation des variations de  $-\frac{E_\ell}{A}$  en fonction de A.
- Les noyaux stables  $20 < A < 190$  sont ceux qui ont une énergie de liaison par nucléon d'environ 8 MeV / nucléon.



- Les noyaux instables peuvent évoluer de deux manières :
  - Les noyaux lourds ( $A > 195$ ) peuvent se briser en deux noyaux plus légers appartenant au domaine de stabilité.
  - Ils subissent une réaction nucléaire de fission.

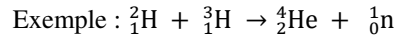
Certains noyaux légers  $1 < A < 20$

( ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$ ) peuvent fusionner pour donner un noyau placé plus bas dans le diagramme.

- Ce sont les réactions nucléaires de fusion

## 8. La fusion nucléaire.

- La fusion est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau lourd.
- **La fusion est une réaction nucléaire provoquée** qui libère de l'énergie.



## 9. La fission nucléaire.

- La fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un neutron lent (neutron thermique) brise un noyau lourd pour former deux noyaux plus légers.
- **La fission est généralement une réaction nucléaire provoquée** qui libère de l'énergie.
- La réaction peut ainsi continuer et même s'accélérer, on est en présence d'une réaction en chaîne.

