Professeur	Bahloul Khalid (+212) 622-17-65-52
Chapitre	Noyaux, masse et énergie **(l'essentiel du cours + applications)**
Niveaux	Bac français / $1^{ère}$ et $2^{ème}$ Bac International SM

I) Equivalence : Masse – Energie.

Il y a une équivalence entre la masse m d'un système, quand il est au repos, et son énergie E qui s'appelle ***énergie de masse***.

Energie (J)

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

Masse (kg)

Célérité de la lumière égale $3.10^8\ m.s^{-1}$

C'est la relation d'Einstein

En physique nucléaire, ***l'unité convenable de la masse*** s'appelle unité de <u>masse atomique</u> symbolisée par u, elle représente $\frac{1}{12}$ de la masse d'un atome du carbone ${}^{12}_{6}C$

$$\boxed{1u = \frac{m\left({}^{12}_{6}C\right)}{12} = \frac{M\left({}^{12}_{6}C\right)}{12 \times Na} = 1,66.10^{-27}\,kg}$$

En physique nucléaire, ***l'unité convenable de l'énergie*** est électronvolt et ces multiples comme mégaélectronvolt **MeV**

$$\boxed{1eV \cong 1,6.10^{-19}J \quad ; \quad 1MeV = 1,6.10^{-13}J}$$

$$\boxed{1u = 931,5\ \ MeV/C^2}$$

Démonstration ……

II) Energie de liaison d'un noyau :

1) Défaut de masse

Le défaut de masse d'un noyau de symbole est **la différence** entre la **masse des nucléons** isolés au repos est **la masse du noyau** au repos

$$\boxed{\Delta m = Z \times m_p + (A - Z) \times m_n - m\left({}^{A}_{Z}X\right)}$$

2) Energie de liaison

L'énergie de liaison ***d'un noyau*** noté E_l est l'énergie qu'il faut apporter à un noyau au repos pour le dissocier en ses nucléons « protons et neutrons » isolés et au repos

$${}_{Z}^{A}X \rightarrow Z{}_{1}^{1}p + (A\text{-}Z){}_{0}^{1}n$$

$$\boxed{E_l = \Delta m \times C^2 = \left[Z \times m_p + (A - Z) \times m_n - m\left({}_{Z}^{A}X\right)\right] \times C^2}$$

Δm est défaut de masse

Application 1

Calculer, en Mev, l'énergie de liaison du noyau de Lithium ${}_{3}^{7}Li$

On donne : $m_P = 1{,}0073$ u ; $m_N = 1{,}0087$ u ; $m({}^{7}Li) = 7{,}0160$ u et 1 u = $1{,}66.10^{-27}$ kg.

<u>*Réponse :*</u>

$${}_{3}^{7}Li \rightarrow 3{}_{1}^{1}p + 4{}_{0}^{1}n$$

On donne : $m_P = 1{,}0073$ u ; $m_N = 1{,}0087$ u ; $m({}^{7}Li) = 7{,}0160$ u et 1 u = $1{,}66.10^{-27}$ kg.

$E_l = \Delta m \times C^2$ avec $\Delta m = 3 \times m_p + 4 \times m_n - m\left({}^{7}Li\right) = 0{,}0407$ u donc $E_l = 0{,}0407 \times C^2$ or

$1u = 931{,}5\ MeV/C^2 \Rightarrow E_l = 0{,}0407 \times 931{,}5\ MeV/\cancel{C^2} \times \cancel{C^2} = 37{,}9\ MeV$

3) Energie de liaison par nucléon

L'énergie de liaison par nucléon est définit par la relation

$$\boxed{E = \frac{E_l}{A}}$$

Plus l'énergie de liaison par nucléon est grande plus le noyau est stable.

III) les réactions nucléaires:

La fission nucléaire est une réaction nucléaire dont laquelle un noyau ***lourd*** « A > 190 » est scindé, sous l'impact d'un neutron, en deux noyaux plus légers.

$${}_{92}^{235}U + {}_{0}^{1}n \rightarrow {}_{36}^{94}Kr + {}_{56}^{139}Ba + 2{}_{0}^{1}n$$

La fusion nucléaire est le fusionnement de deux noyaux légers « A < 20 » pour donner naissance à un noyau plus lourd.

$$4{}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{2}^{4}He + 2{}_{1}^{0}e$$

IV) Bilan énergétique des réactions nucléaires:

$${}_{Z_1}^{A_1}X_1 + {}_{Z_2}^{A_2}X_2 \rightarrow {}_{Z_3}^{A_3}X_3 + {}_{Z_4}^{A_4}X_4$$

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

$$\Delta E = \Delta m \times C^2 = \left[\left(m(X_4)+m(X_3)\right)-\left(m(X_2)+m(X_1)\right)\right]\times C^2$$

$$E_{libérée} = |\Delta E|$$

$$\Delta E = \left[E_1(X_1)+E_1(X_2)\right]-\left[E_1(X_3)+E_1(X_4)\right]$$

Application 2

$$^{32}_{15}P \rightarrow {}^{32}_{16}S + {}^{0}_{-1}e$$

Calculer l'énergie libérer par cette transformation.

On donne :

$m(S) = 5,30763.10^{-26}$ kg ; $m(P) = 5,30803.10^{-26}$ kg ; $m(e) = 9,1.10^{-31}$ kg .

Réponse :

$E_{libérée} = |\Delta E|$ avec $\Delta E = \Delta m \times C^2$ calculons Δm la variation de masse :

$$\Delta m = m(S) + m(e) - m(P)$$

A.N :

$$\Delta m = 5,30763.10^{-26} + 9,1.10^{-31} - 5,30803.10^{-26} = -3,09.10^{-30}\ kg$$

et $\Delta E = \Delta m \times C^2 = -3,09.10^{-30} \times (3.10^8)^2 = -2,781.10^{-13}\ J = -1,73$ Mev

$E_{libérée} = |\Delta E| = 1,73$ Mev

Application 3

Définir les réactions nucléaires suivantes (Utiliser les termes suivants, en justifiant : fusion, fission, provoquée, spontanée, α, β^+, β^-)

1. $^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$
2. $^{124}_{53}I \rightarrow {}^{124}_{54}Xe + {}^{0}_{-1}e$
3. $^{124}_{53}I \rightarrow {}^{124}_{52}Te + {}^{0}_{1}e$
4. $^{3}_{2}He + {}^{3}_{2}He \rightarrow {}^{4}_{2}He + 2{}^{1}_{1}H$
5. $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{94}_{39}Y + {}^{139}_{53}I + 3{}^{1}_{0}n$

Correction

1. Fusion provoquée (N'existe pas dans les conditions habituelles) 1pt
2. β^- spontanée (le noyau se désintègre seul, et il produit un électron) 1pt
3. β^+ spontanée (le noyau se désintègre seul, et il produit un électron) 1pt
4. Fusion provoquée1pt
5. Fission (rupture d'un noyau lourd en noyau plus légers) provoquée (sous l'effet d'un neutron) 1pt

Application 4

Soit la réaction nucléaire suivante : ${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{139}_{54}Xe + 3{}^{1}_{0}n$

1. Quelles sont les règles qui permettent de déterminer A et Z ? Calculer ces valeurs, déterminer ${}^{A}_{Z}X$
2. Définir et calculer le défaut de masse Δm de la réaction.
3. En déduire l'énergie libérée par 1 noyau d'Uranium puis pour un kilogramme
4. La combustion d'une tonne de charbon libère $2,5.10^{10}$ J. Quelle masse de charbon libère, en théorie, autant d'énergie qu'un kilo d'uranium ?

Données : ${}^{94}_{38}Sr$; ${}^{95}_{38}Sr$; ${}^{94}_{37}Rb$; ${}^{93}_{39}Y$ $\quad$ M${}^{235}_{92}U$ = 234 g/mol

$m({}^{235}_{92}U) = 235,013\ u\ ; m({}^{1}_{0}n) = u\ ; m({}^{A}_{Z}X) = 93,8946\ u\ ; m({}^{139}_{54}Xe) = 138,888\ u\ ; u = 1,66.10^{-27}\ kg$

C = 299792458 $m.s^{-1}$; $N_{av} = 6,02.10^{23}$ mol^{-1}

Correction

1. A et Z se conservent 0,5pt A = 236-139-3 =94 et Z = 38 c'est donc ${}^{94}_{38}Sr$ 0,5pt
2. Le défaut de masse représente la diminution de la masse des noyaux produits par rapport à la masse des noyaux initiaux. $|\Delta m| = |m({}^{235}_{92}U) + m({}^{1}_{0}n) - (m({}^{94}_{38}Sr) + m({}^{139}_{54}Xe) - 3m({}^{1}_{0}n))| = 3,82464.10^{-28}\ kg$ 1pt

3. $E_l = |\Delta m| * c^2 = 3,4374.10^{-11}\ J$ pour 1 kg N = n*N_{av}= m/M*N_{av} = 4,273*$6,02.10^{23}$ noyaux.
   E = $8,836.10^{13}$ J 2 pt
4. E/$2,5.10^{10}$ = 3535 tonnes de charbon 1pt

Application 5

Le potassium 40 (${}^{40}_{19}K$) est un atome radioactif présent dans la nature.

Le corps humain contient 4,2 mol de potassium, dont seulement 0,01167 % est du potassium 40 radioactif.

1. Quelle est la masse de potassium dans le corps humain ? Quelle est la masse de potassium radioactif dans le corps humain ?
2. Le potassium 40 se désintègre en subissant une désintégration β^-. Ecrire cette désintégration
3. L'activité d'un gramme de potassium 40 vaut 263.10^3 Bq. Que signifie cette donnée ?
4. La période radioactive du potassium 40 vaut 1,248 milliards d'années. Que signifie cette période ?

Données : ${}_{20}Ca$ et ${}_{18}Ar$ $\quad$ M(${}^{40}_{19}K$) = 40 g/mol (potassium radioactif) ; M(${}_{19}K$) = 39 g/mol (potassium radioactif et non radioactif)

Correction

1. Masse de potassium dans le corps m = n*M = 4,2*39 = 163,8 g ; masse du potassium radioactif : n'=0,01167/100*4,2=$4,9014.10^{-4}$ mol donc m' = $4,9014.10^{-4}$*40 = $1,96.10^{-2}$ g de potassium radioactif 1,5pt
2. ${}^{40}_{19}K \rightarrow {}^{40}_{20}Ca + {}^{0}_{-1}e$ 1,5pt
3. L'activité représente le nombre de désintégration par seconde d'un gramme de potassium 40 1pt
4. La période est la durée au bout de laquelle le nombre de noyaux initialement présents se sont désintégrés 1pt