Noyaux – Masse - Energie

I) Equivalence : Masse – Energie.

1) La relation Albert Einstein:

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***. On écrit

Energie (J)

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

Masse (kg)

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

2) Unités de masse et d'énergie:

2-1/ Unité de masse atomique :

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

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

$Na = 6,02.10^{23}$ mol^{-1}: le nombre d'Avogadro ; $M\left({}^{6}_{12}C\right)=12$ g.mol^{-1} *: masse molaire du carbone*

$m(P) = 1,0073\ u$: *Masse d'un proton* et $m(N) = 1,0087\ u$: *Masse d'un neutron*

2-2/ Unité de l'énergie : Electronvolt

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

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

2-3/ Energie équivalente à l'unité de masse atomique :

D'après la relation d'Albert Einstein et pour la masse égale à 1 u on a

$$E = m \times C^2 = 1,66054.10^{-27} \times (299792458)^2 = 1492,42.10^{-13}\,J$$

$$E = \frac{1492,42.10^{-13}}{1,602177.10^{-13}} = 931,5\ \text{MeV}$$ d'où $$\boxed{1u = 931,5\ \text{MeV/C}^2}$$

Exercice d'application N°1:

Calculer l'énergie de masse relative à un proton en SI puis en Mev.

Données : $m_p = 1,6726.10^{-27}$ kg

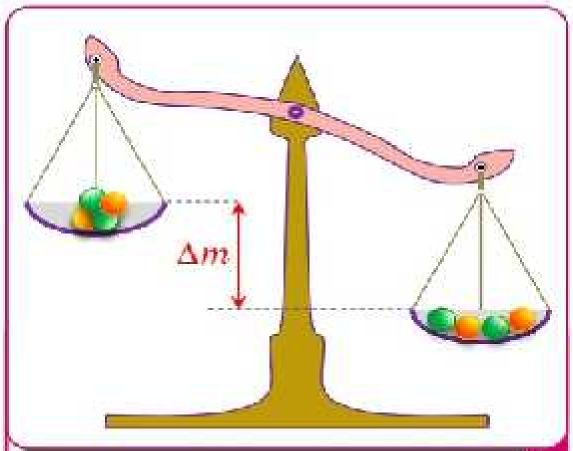
II) Energie de liaison d'un noyau :

1) *Défaut de masse :*

Le défaut de masse d'un noyau de symbole ${}_{Z}^{A}X$ est la différence entre la masse des nucléons isolé et au repos est la masse du noyau au repos, on le symbolise par :

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

Le défaut de masse est toujours strictement positif.



Défaut de masse du noyau ^{4}He

Exercice d'application N°2:

Calculer, en u et en kg, le défaut de masse du noyau du carbone ${}_{3}^{7}Li$

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.

2) *Energie de liaison:*

2-1/ Définition :

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 :

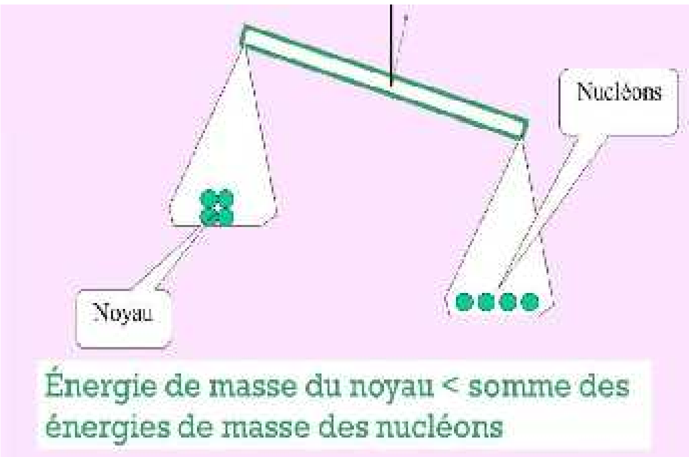
$${}_{Z}^{A}X \rightarrow Z\,{}_{1}^{1}p + (A\text{-}Z)\,{}_{0}^{1}n$$

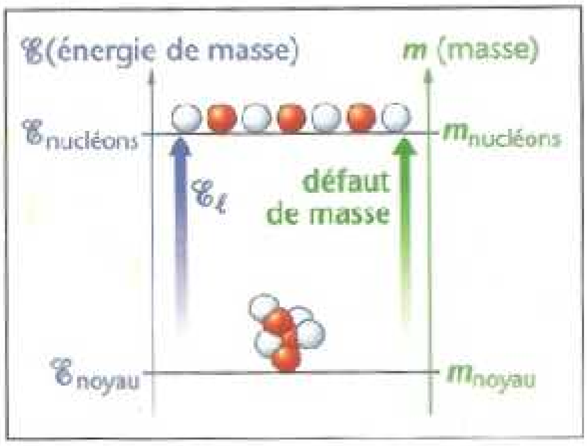
On l'exprime par la relation:

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

avec Δm est défaut de masse.

L'unité de l'énergie de liaison est MeV





Exercice d'application N°3:

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.

Réponse :

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

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

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

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

2-2/ Energie de liaison par nucléon :

L'énergie de liaison par nucléon est définit par la relation : $E = \frac{E_l}{A}$ son l'unité est **MeV/nucléon**.

Exercice d'application N°4:

Calculer, en Mev/nucléon, l'énergie de liaison par nucléon du noyau du Lithium $^{7}_{3}\mathrm{Li}$.

2-3/ Comparaison de la stabilité des noyaux radioactifs:

A partir de l'énergie de liaison par nucléon, on peut comparer la stabilité de 2 noyaux radioactifs :

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

$$\frac{E_l(X_1)}{A_1} \succ \frac{E_l(X_2)}{A_2} \Leftrightarrow \textbf{X}_1 \textbf{ est plus stable que } \textbf{X}_2$$

Plus l'énergie de liaison par nucléon est grande plus la désintégration du noyau radioactif est difficile et donc plus le noyau est stable.

3) . Courbe d'Aston:

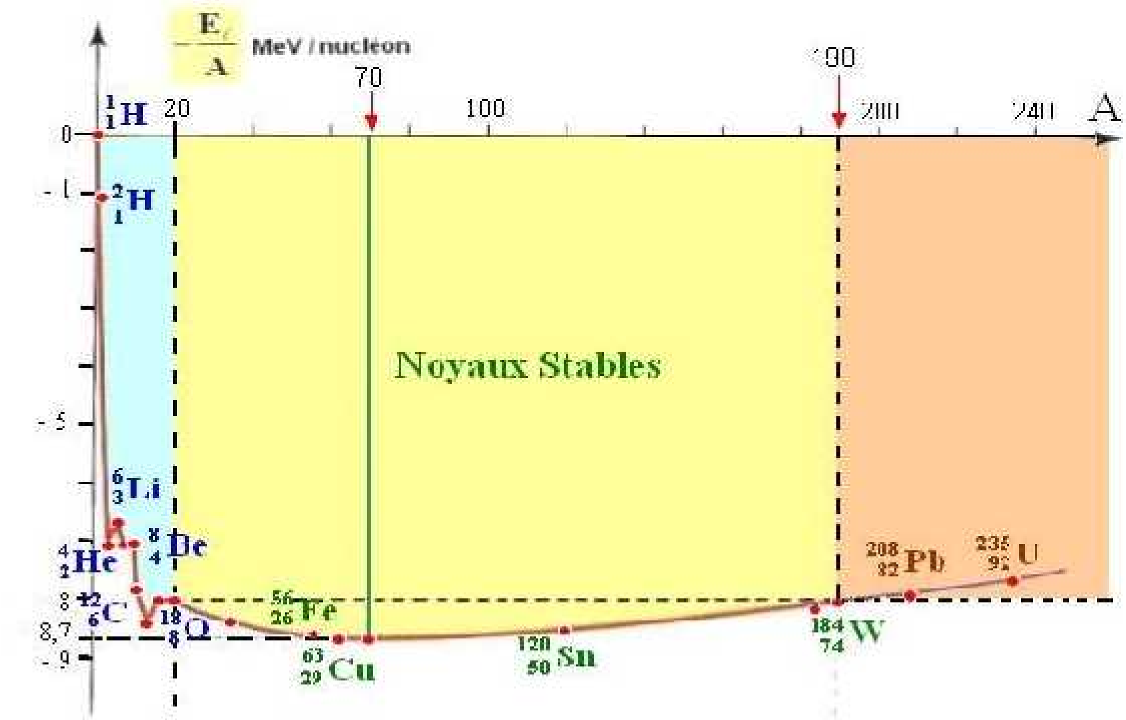
La courbe d'Aston représente l'opposé de l'énergie de liaison par nucléon $-\frac{E_l}{A}$ en fonction du nombre de nucléon A, il permet de comparer la stabilité des différents noyaux

Pour 20 < A < 190 on constate sur la courbe des valeurs minimales de $-\frac{E_l}{A}$ sa valeur absolue $\approx 8\ MeV\ /nucléon$ cette partie contient les noyaux les plus stable.

Pour A < 20 et A > 190 l'énergie de liaison par nucléon de ces noyaux est faible, c'est pour cela ces noyaux sont instable. Ils peuvent se transformer aux noyaux plus stables selon deux types de réactions nucléaires :

- Pour les noyaux lourds (A>190) instables, chaque noyau est scindé en deux noyaux plus légers, on appelle ce phénomène la ***fission nucléaire***.

- Pour les noyaux légers (A<20) ils se fusionnent entre eux pour former un noyau plus lourd, on appelle ce phénomène la ***fusion nucléaire.***



III) Fission et fusion nucléaire :

La fission nucléaire et la fusion nucléaire sont des transformations nucléaires *forcées* ou *provoquées* c.à.d nécessitant un apport d'énergie de l'extérieure.

1) *La Fission nucléaire :*

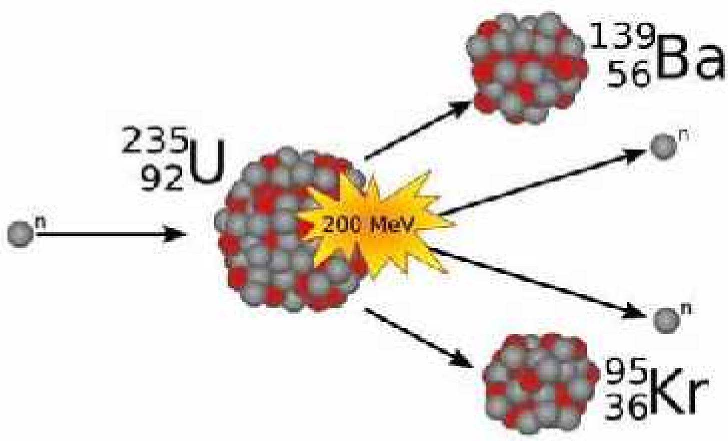
La fission est une réaction nucléaire dont laquelle un noyau ***lourd*** « A > 190 » est scindé, sous l'impact d'un neutron, en deux noyaux plus légers.

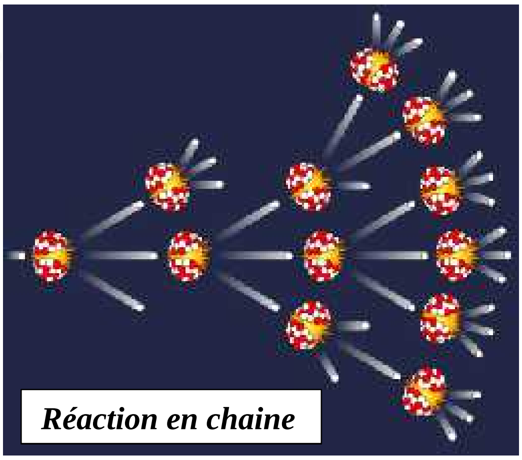
Exemple : l'envoie un neutron libères sur un noyau d'Uranium :

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

Remarque :

- Chacun des 2 neutrons libères va provoquer, à son tour, la fission d'un atome d'uranium et ainsi de suite : on parle de ***réaction en chaine.*** ***« C'est ce qu'il faut maitriser dans les centrales nucléaires »***
- *Ce type de réaction rare naturellement. Elle est provoquée dans les centrales nucléaires afin de produire de l'électricité.*





Réaction en chaine

2) La Fusion nucléaire :

Deux noyaux légers « A < 20 » fusionnent pour donner naissance à un noyau plus lourd stable.

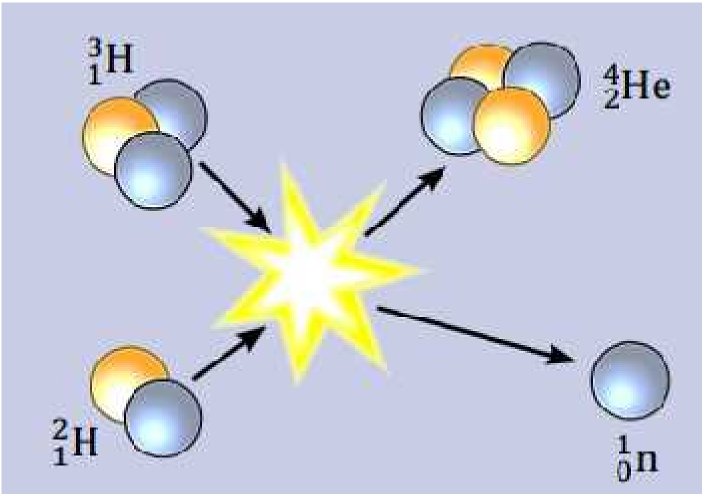
***Exemple** 1*: Dans le soleil le noyau d'hydrogène fusionne pour former de l'hélium.

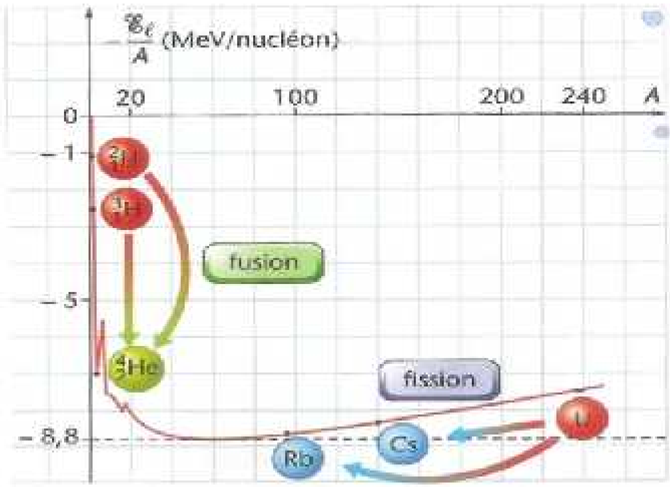
$$4\,{}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{0}_{1}e$$

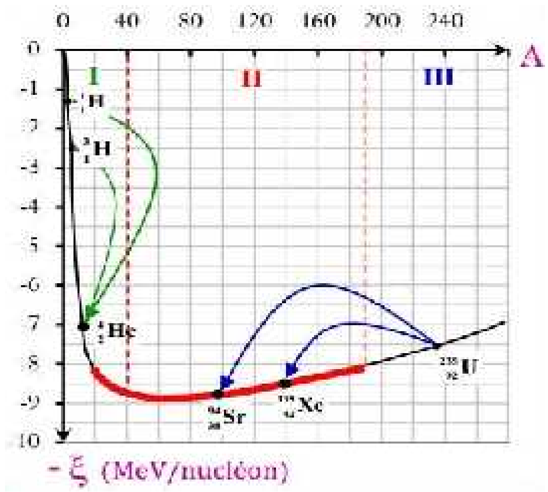
Ce type de réaction rarement produite c'est la bombe H .Elle a lieu naturellement dans le soleil et les étoiles. Les scientifiques travaillent pour la contrôler « projet ITER » car elle produit 4 fois plus d'énergie que la fission nucléaire

Exemple 2 :

$${}^{3}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$







IV) Le bilan massique et énergétique d'une réaction nucléaire :

1) Variation de masse et d'énergie :

On considère la réaction nucléaire suivante :

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

Avec X le symbole du noyau

- ***Le bilan massique*** Δm **:** $\Delta m = m_{produits} - m_{réactifs}$

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

- ***Le bilan énergétique* ΔE :**

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

Remarque :

- Si $\Delta E \prec 0$ la réaction est exothermique.
- Si $\Delta E \succ 0$ la réaction est endothermique.
- L'énergie libérer par cette transformation : $E_{\text{libérée}} = |\Delta E|$.
- On peut calculer l'énergie de réaction à partir des énergies de liaisons grâce à la formule suivante :

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

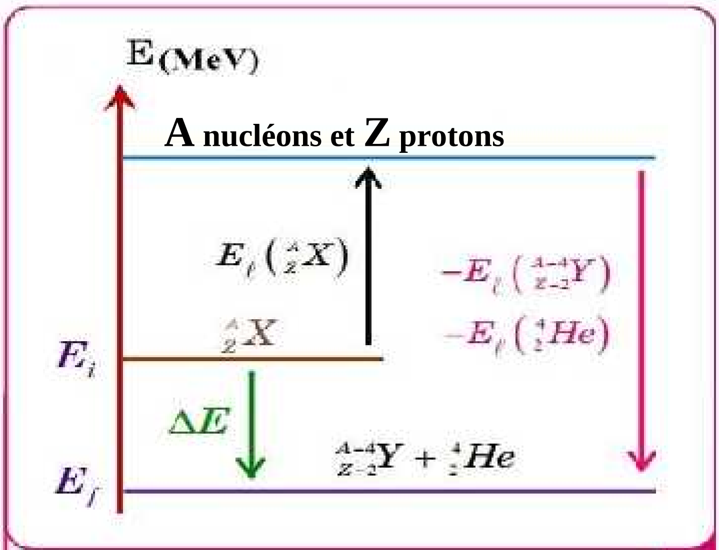


Diagramme énergétique de désintégration α

Exemple :

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

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 :

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

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

A.N :

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

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

$$E_{\text{libérée}} = |\Delta E| = 1{,}73\ \text{Mev}$$