

Leçon N°4: Noyau , énergie et masse

I Equivalence : Masse - Energie

I.1 La relation Albert Einstein:

En 1905 Albert Einstein postulat l'équivalence entre la masse et l'énergie suivante : *Tout corps de masse "m" au repos, possède une énergie égale au produit de sa masse par le carré de la vitesse de la lumière dans le vide.*

$$E = m.c^2$$

- E : s'appelle l'énergie massique. (J)
- m: la masse du corps au repos. (kg)
- c: vitesse de la lumière dans le vide $c = 3.10^8 m/s$

Cette relation montre que toute variation de masse Δm d'un système s'accompagne d'une variation d'énergie $\Delta E = \Delta m.c^2$

I.2 Unités de masse et d'énergie:

I.2.1 Unité de masse atomique (uma)- (u)

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 $^{12}_6C$.

$$1uma = \frac{m(^{12}_6C)}{12} = \frac{M(^{12}_6C)}{12N_a} = 1,66.10^{-27} Kg$$

avec : $N_a = 6,02.10^{23} mol$ le nombre d'Avogadro ; $M(^{12}_6C) = 12/mol$ masse molaire du carbone
 $m_p = 1,0073u$ masse d'un proton ; $m_n = 1,0087u$

I.2.2 Unité de l'énergie : Electronvolt

En physique nucléaire, l'unité convenable de l'énergie est électronvolt et ses multiples comme mégaélectronvolt MeV : $1ev = 1,6.10^{-19} J$; $1Mev = 1,6.10^{-13} J$

I.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 $E = m.c^2 = 1,66054.10^{-27}.(299792458)^2 = 1492,42.10^{-13} J$

donc : $E = \frac{1492.10^{-13}}{1,602177.10^{-13}} = 931,5 Mev$.

$$1uma = 931,5Mev/c^2$$

Exercice d'application N°1: Calculer l'énergie de masse relative à un proton en SI puis en Mev. Données : $m_p = 1,6726.10^{-27} kg$

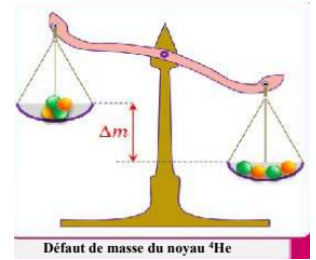
II Energie de liaison d'un noyau :

II.1 Défaut de masse :

Le défaut de masse d'un noyau de symbole A_ZX est la différence entre la masse des nucléons isolé et au repos est la masse du noyau au repos, on le symbolise par :

$$\Delta m = Z.m_p + (A - Z).m_n - m({}^A_ZX)$$

Le défaut de masse est toujours strictement positif.



Exercice d'application N°2:

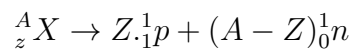
Calculer, en u et en kg, le défaut de masse du noyau du carbone 7_3Li

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

II.2 Energie de liaison:

II.2.1 Définition :

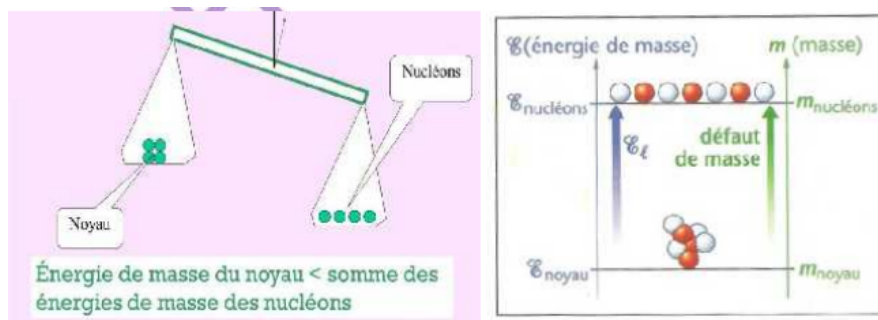
L'énergie de liaison d'un noyau noté E_l est l'énergie qu'il faut apporter à un noyau au repos pour le dissocier en ses nucléons " protons et neutrons " isolés et au repos :



On l'exprime par la relation:

$$E_l = \Delta m.C^2 = [Z.m_p + (A - Z).m_n - m({}^A_ZX)]$$

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 du carbone 7_3Li

II.2.2 Energie de liaison par nucléon :

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

Exercice d'application N°4:

Calculer, en Mev/nucléon, l'énergie de liaison du noyau du carbone 7_3Li

II.2.3 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.

$$\frac{E_l(X_1)}{A_1} \geq \frac{E_l(X_2)}{A_2}$$

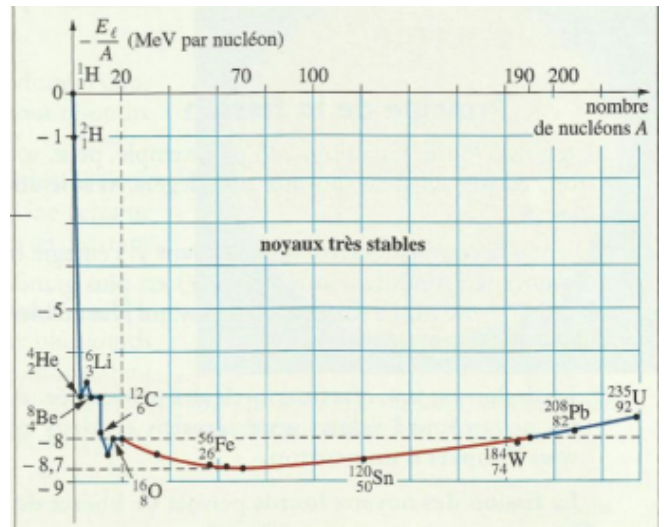
X1 est plus stable que X2

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

II.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 $20 \leq A \leq 190$ on constate sur la courbe des valeurs minimales de $-\frac{E_l}{A}$ sa valeur absolue $\approx 8\text{MeV/nucléon}$ cette partie contient les noyaux les plus stables.
- $A \leq 20$ et $A \geq 190$ l'énergie de liaison par nucléon de ces noyaux est faible, c'est pour cela ces noyaux sont instables. Ils peuvent se transformer aux noyaux plus stables selon deux types de réactions nucléaires :
- Pour les noyaux lourds ($A \geq 190$) instables, chaque noyau est scindé en deux noyaux plus légers, on appelle ce phénomène la fission nucléaire.
- Pour les noyaux légers ($A \leq 20$) ils se fusionnent entre eux pour former un noyau plus lourd, on appelle ce phénomène la fusion nucléaire.



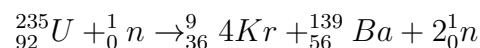
III Fission et fusion nucléaire :

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.

III.1 La Fission nucléaire :

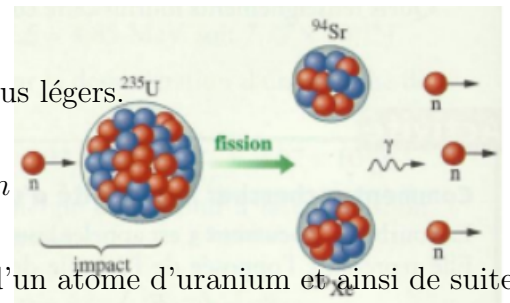
La fission est une réaction nucléaire dont laquelle un noyau lourd $A \geq 190$ est scindé, sous l'impact d'un neutron, en deux noyaux plus légers.

Exemple : l'envoi d'un neutron libre sur un noyau d'Uranium :



Remarque :

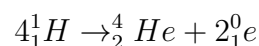
Chacun des 2 neutrons libérés va provoquer, à son tour, la fission d'un atome d'uranium et ainsi de suite : on parle de réaction en chaîne.



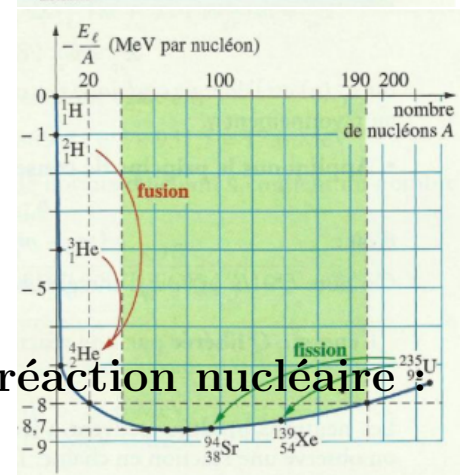
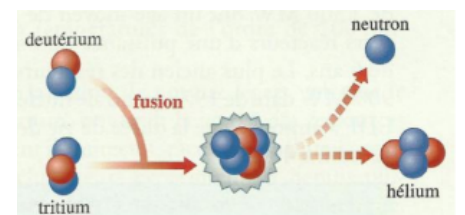
III.2 La Fusion nucléaire :

Deux noyaux légers $A \leq 20$ 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.



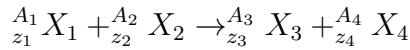
Ce type de réaction rarement produite c'est la bombe H. Elle a lieu naturellement dans le soleil et les étoiles. Les scientifiques travaillent pour la contrôler " projet ITER " car elle produit 4 fois plus d'énergie que la fission nucléaire.



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

IV.1 Variation de masse et d'énergie :

On considère la réaction nucléaire suivante :



Avec X le symbole du noyau

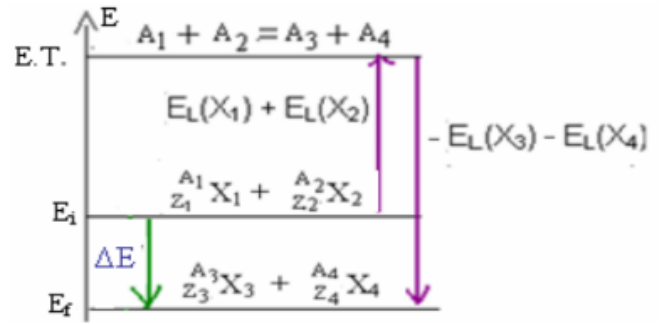
- Le bilan massique : $\Delta m = m_{\text{produits}} - m_{\text{reactifs}}$
- $\Delta m = (m(X_4) + m(X_3)) - (m(X_2) + m(X_1))$
- Le bilan énergétique ΔE :

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

- L'énergie de cette transformation est donnée par la relation suivante:

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

- Si $\Delta E \leq 0$ la réaction est exothermique.
- Si $\Delta E \geq 0$ la réaction est endothermique.
- L'énergie libérée par cette transformation : $E_{\text{lib}} = \Delta E$



V Bilan énergétique des transformations nucléaires spontanées:

V.1 Bilan énergétique de la transformation α :

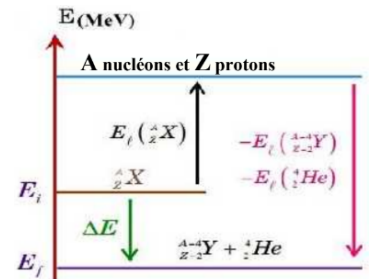
Equation de désintégration α : ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4He$

$$\text{Bilan énergétique : } \Delta E = [(m({}_{Z-2}^{A-4}Y) + m({}_2^4He)) - (m({}_Z^AX))] \cdot C^2 \leq 0$$

V.2 Bilan énergétique de la transformation β^- :

Equation de désintégration β^- : ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e$

$$\text{Bilan énergétique : } \Delta E = [(m({}_{Z+1}^AY) + m({}_{-1}^0e)) - (m({}_Z^AX))] \cdot C^2 \leq 0$$



VI Les effets biologiques de la radioactivité:

Les rayonnements alpha, bêta et gamma constituent un danger pour l'homme car ce sont des rayonnements ionisants. La gravité des effets biologiques de la radioactivité dépend du type de radiation et de la dose absorbée par l'organe touché. Cependant la radioactivité est présente partout et elle trouve des applications dans de nombreux domaines aujourd'hui, notamment dans le domaine médical mais en faibles doses.

