Équivalence masse et énergie

I. Équivalence masse - énergie

1. Relation d'Einstein

En 1905, en élaborant la théorie de la relativité restreinte, Einstein postule que la masse est une des formes que peut prendre l'énergie.

Postulat d'Einstein: Un système de masse m possède lorsqu'il est au repos, une énergie:

$E = m.c^2$	avec	E: énergie du système en joules (J) m: masse du système en kilogrammes (kg) c: vitesse de la lumière dans le vide ($c=3{,}0.10^8 m.s^{-1}$)

Conséquence: Si le système (au repos) échange de l'énergie avec le milieu extérieur, (par rayonnement ou par transfert thermique par exemple), sa variation d'énergie DE et sa variation de masse Dm sont liées par la relation:

$$\Delta E = \Delta m.\ c^2$$

Remarque:

- Si $\Delta m<0$ alors $\Delta E<0$: le système fournit de l'énergie au milieu extérieur.
- Si $\Delta m>0$ alors $\Delta E>0$: le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur.

2. Unités de masse et d'énergie

Le joule est une unité d'énergie inadaptée à l'échelle microscopique. On utilise plutôt à cette échelle l'électron volt (noté eV):

$$1\ eV = 1{,}60.10^{-19}\ J$$

Remarque: On utilise aussi le MeV: $1MeV = 10^6 eV = 1{,}60.10^{-13} J$.

A cette échelle, il est possible d'utiliser comme unité de masse l'unité de masse atomique (notée u). L'unité de masse atomique est définie comme étant égale au douzième de la masse d'un atome de carbone ${}^{12}_{6}C$.

$$1u = \frac{M({}^{12}_{6}C)}{12 N_A} \quad => \quad 1u = \frac{12{,}0.10^{-3}}{12 x 6{,}02.10^{23}} = 1{,}67.10^{-27} kg$$

II. Énergie de liaison du noyau

1. Défaut de masse du noyau

Expérimentalement, on a constaté que la masse du noyau atomique est inférieure à la somme des masses des nucléons qui le constituent. Dans le cas d'un noyau $^{A}_{Z}X$, en notant m_p la masse du proton et m_n la masse du neutron, on peut écrire: $m_{noyau} < Z.m_p + (A - Z).m_n$. On pose:

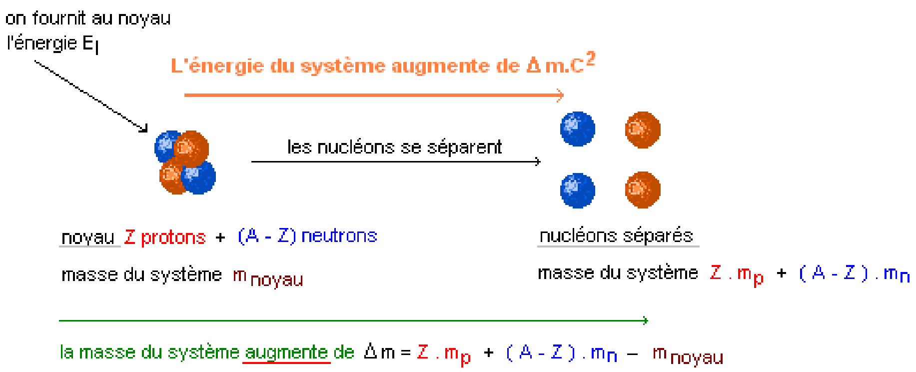
$$\Delta m = Z.m_p + (A - Z).m_n - m_{noyau}$$ avec Δm: défaut de masse du noyau

On remarquera que Δm>0.

Exemple: Dans le cas du noyau d'hélium $^{4}_{2}He$, $\Delta m = 2.m_p + 2.m_n - m(^{4}_{2}He)$.

2. Énergie de liaison du noyau

Définition: On appelle énergie de liaison d'un noyau (notée E_l) l'énergie que doit fournir le milieu extérieur pour séparer ce noyau au repos en ses nucléons libres au repos.



Lorsqu'on brise le noyau, sa masse augmente de Δm et son énergie de $\Delta m.c^2$. On en déduit que l'énergie de liaison d'un noyau a pour expression:

$$E_l = \Delta m.c^2$$

E_l: énergie de liaison du noyau (en Mev)

Δm: défaut de masse du noyau (en kg)

c: célérité de la lumière dans le vide (en $m.s^{-1}$)

Remarque: Inversement, lorsque le noyau se forme à partir de ses nucléons libres, le milieu extérieur reçoit l'énergie $E=|\Delta m|.c^2$ (la masse du système diminue et Δm<0).

3. Énergie de liaison par nucléon

Définition: L'énergie de liaison par nucléon d'un noyau est le quotient de son énergie de liaison par le nombre de ses nucléons. On la note E_A.

$$E_A = \frac{E_l}{A}$$

- E_A: énergie de liaison par nucléon (en Mev/nucléon)
- E_l: énergie de liaison du noyau (en Mev)
- A: nombre de nucléons du noyau

Remarque: E_A permet de comparer la stabilité des noyaux entre eux. Les noyaux dont l'énergie de liaison par nucléon est la plus grande sont les plus stables.

4. Courbe d'Aston

La courbe d'Aston est la courbe $-E_A=f(A)$. Cette courbe permet de visualiser facilement les noyaux les plus stable puisque ceux-ci se trouvent au bas du graphe.