

MASSE ET ENERGIE – REACTIONS NUCLEAIRES

Source: <http://www.web-sciences.com/fichests/fiche6/fiche6.php>

Webmestres: Philippe Campion et Jacques Parra.



Web-Sciences - Les sciences physiques au lycée



Masse et énergie. Réactions nucléaires

1. Equivalence masse énergie

1.1 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:

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

avec {

- E: énergie du système en joules (J)
- m: masse du système en kilogrammes (kg)
- c: vitesse de la lumière dans le vide ($c=3,0 \cdot 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

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 ΔE et sa variation de masse Δm sont liées par la relation:

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

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.

1.2 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):

$$1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Remarque: On utilise aussi le MeV: $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.

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 $^{12}_6\text{C}$.

$$1 \text{ u} = \frac{M(^{12}_6\text{C})}{12 \cdot N_A} \rightarrow 1 \text{ u} = \frac{12,0 \cdot 10^{-3}}{12,602 \cdot 10^{23}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

2. Énergie de liaison du noyau

2.1 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_ZX , en notant m_p la masse du proton et m_n la masse du neutron, on peut écrire: $m_{\text{noyau}} < Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n$. On pose:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{noyau}}$$

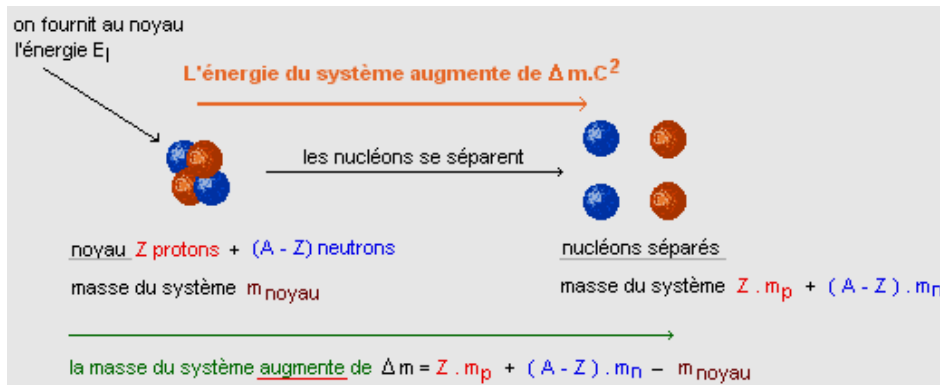
avec Δm le défaut de masse

On remarquera que $\Delta m > 0$.

Exemple: Dans le cas du noyau d'hélium ^4_2He , $\Delta m = 2 \cdot m_p + 2 \cdot m_n - m(^4_2\text{He})$.

2.2 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:

$$E_1 = \Delta m.c^2$$

E_1 : énergie de liaison du noyau (en MeV)

avec $\left\{ \begin{array}{l} \Delta m: \text{défaut de masse du noyau (en kg)} \\ c: \text{célérité de la lumière dans le vide (en m.s}^{-1}\text{)} \end{array} \right.$

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 $\Delta m < 0$).

2.3 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 .

$$E_A = \frac{E_1}{A} \quad \text{avec} \quad E_A: \text{énergie de liaison par nucléon (en MeV/nucléon)}$$

E_1 : 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.

2.4 Courbe d'Aston

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

