Mohamed El Founani
Lycée Ibn Maja

Noyaux, masse et énergie :

Équivalence masse-énergie :

Relation d'Einstein :

En 1915, lors de ses recherches en mécanique relativiste, Einstein prouve que chaque système en état de repos possède une énergie E appelée *Énergie de masse*, exprimée par :

$$E = mc^2$$

Avec E en Joules (J), m en Kg et c la célérité de la lumière dans le vide $c = 3 \times 10^8$ m/s.
On peut déduire que : si la masse varie avec Δm, l'énergie varie aussi $\Delta E = \Delta m.c^2$

. Si la masse diminue $\Delta m < 0$, alors le système fournie de l'énergie au milieu extérieur.
. Si la masse augmente $\Delta m > 0$, alors le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur.

Les unités de masse et d'énergie :

Dans le système international, le joule est utilisé comme l'unité de l'énergie. Mais en physique nucléaire, il est préférable d'utiliser d'autres unités correspondantes comme l'électron-volt (eV) et ses multiples (MeV).

$$1\text{eV} = 1,062 \times 10^{-19}\text{J}$$
$$1\text{MeV} = 1,062 \times 10^{-13}\text{J}$$

Et pour la masse, comme on a traité dans le cours précédent s'exprime en u, tel que $1u = 1,66 \times 10^{-27}$Kg. (Consulter le cours de *la décroissance radioactive* afin de comprendre d'où vient cette valeur).
L'énergie correspondante à $1u$.

$$\begin{aligned} E &= mc^2 \\ &= u.c^2 \\ &= 1,66 \times 10^{-27} \times 9 \times 10^{16} \\ &\approx 14,93 \times 10^{-11}\text{J} \\ &= \frac{14,93 \times 10^{-11}}{1,062 \times 10^{-13}}\text{MeV} \\ &\approx 931,5\text{MeV} \end{aligned}$$

Donc on conclut que : $uc^2 = 931,5\text{MeV}$ par suite : $u = 931,5\text{MeV}.c^{-2}$

Énergie de liaison :

Décroissance massique :

On appelle décroissance massique Δm, la différence entre la somme des masses des nucléons et la masse du noyau. On l'appelle aussi défaut de masse, elle est donnée par :

$$\Delta m = [\text{Z}m_p + (\text{A}-\text{Z})m_n] - m \qquad (\text{A}-\text{Z}=\text{N})$$

Elle est toujours positive.

Énergie de liaison :

On appelle énergie de liaison E_l du noyau, ou énergie de cohésion, l'énergie qu'on doit fournir au noyau en état de repos, pour faire séparer ses nucléons en restant au repos. E_l est toujours positive.
Elle est liée avec le défaut massique, par la relation d'Einstein :

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

Énergie de liaison par nucléon :

On exprime l'énergie de liaison par nucléon par le rapport :

$$\mathscr{E} = \frac{E_l}{\mathrm{A}}$$

Dont E_l de liaison et A le nombre de nucléons.
On écrit alors :

$$\mathscr{E} = \frac{\big([\mathrm{Z}m_p + (\mathrm{A}-\mathrm{Z})m_n] - m\big).c^2}{A}$$

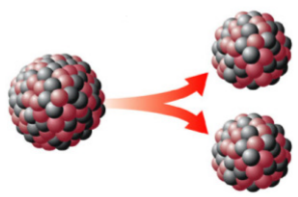
Le noyau sera plus stable si $\mathscr{E}$ est plus grande.
Cette énergie n'est pas identique pour tous les noyaux, elle est faible pour les noyaux légers, elle augmente jusqu'aux noyaux de masse moyenne se trouvant aux alentours du fer 56, et décroît ensuite.

Fission et fusion nucléaire :

Fission nucléaire :

Fission nucléaire : Sous l'impact d'un neutron, un noyau lourd (A>200) dit fissile, se scinde en deux noyaux plus légers. Le noyau fissile le plus utilisé est l'Uranium 235.
Exemple :

$${}^{0}_{1}n + {}^{235}_{38}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{94}_{38}\mathrm{Sr} + {}^{139}_{54}\mathrm{Xe} + 3{}^{0}_{1}n + \gamma$$



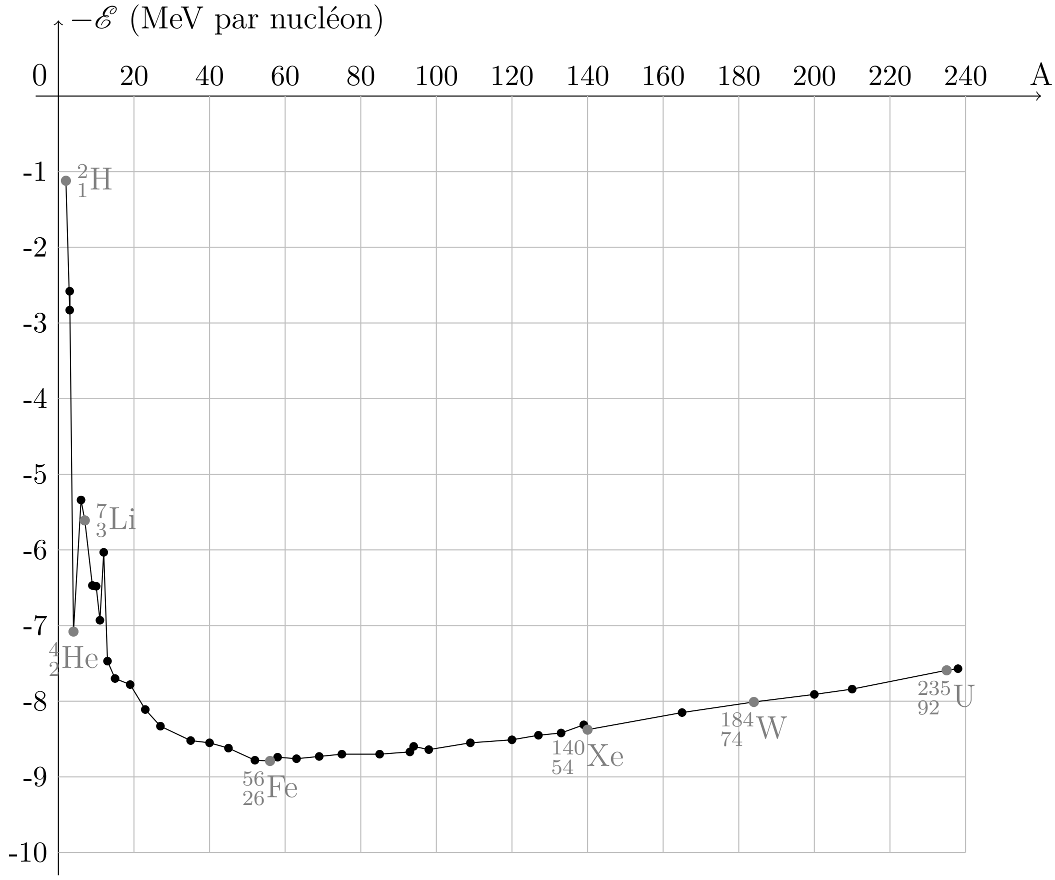
Fusion nucléaire

Fusion nucléaire : Deux noyaux légers s'agglomèrent, pour former un noyau plus lourd et plus stable avec libération d'énergie.
Exemple :

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

La courbe d'Aston :

La courbe d'Aston représente l'opposée de l'énergie de liaison par nucléon en fonction du nombre de nucléons : $-\mathscr{E} = f(A)$.



La courbe d'Aston nous permet de comparer les stabilités de différents noyaux.
Le noyau est plus stable si $-\mathscr{E}$ est plus petite. Ceux qui ont la plus grande valeur de $\mathscr{E}$ apparaissent dans la partie la plus basse de la courbe.

. Pour $20 < \mathrm{A} < 190$, on constate que $-\mathscr{E}$ prend des valeurs minimales qui correspondent aux noyaux plus stable

. Pour A> 20, on constante que $-\mathscr{E}$ augmente rapidement. Il correspond aux petits noyaux instables ce qui pousse ces noyaux à sassocier entre eux pour former dautres noyaux plus lourds plus stables. C'est la fusion nucléaire.

. Pour A< 190, on constate que $-\mathscr{E}$ augmente lentement. Les noyaux correspondants sont instables ce qui leur poussent à ce dissocier pour former dautres noyaux plus légers plus stable. C'est la fission nucléaire.

Bilan massique et énergétique :

Soit la transformation suivante :

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

Pour calculer l'énergie de cette transformation à partir des énergies des noyaux, on applique la formule suivante :

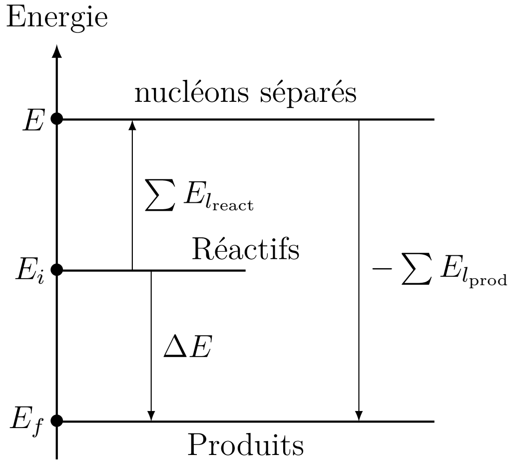
$$\Delta E = \big(E_l(\mathrm{X}_1) + E_l(\mathrm{X}_2)\big) - \big(E_l(\mathrm{X}_3) + E_l(\mathrm{X}_4)\big)$$

Généralement :

$$\Delta E = \sum E_{l_{\text{react}}} - \sum E_{l_{\text{prod}}}$$

Ou plus encore :

$$\Delta E = \big(m(\mathrm{X}_3) + m(\mathrm{X}_4) - m(\mathrm{X}_1) - m(\mathrm{X}_2)\big).c^2$$



On peut calculer l'énergie $\Delta E = E_f - E_i$ libérée par une réaction nucléaire par deux méthodes :

. Si on connait les masses des noyaux finaux et initiaux, on calcule la perte de masse du système Δm et on applique la formule :

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

. Si on connait les énergies de liaison des différents noyaux, comme représente le diagramme :

$$\Delta E = \sum E_{l_{\text{react}}} - \sum E_{l_{\text{prod}}}$$