

INTERACTION FORTE

Liaison par nucléons

Rappel

masse du proton (m_p)	= 1,6726 10^{-27} kg
masse du neutron (m_n)	= 1,6749 10^{-27} kg
masse de l'électron (m_e)	= 9,1094 10^{-31} kg

Oups !

Y-a un truc ?

Connaissant la masse des deux constituants du noyau, il est facile de calculer la masse de celui-ci en additionnant les masses de tous les protons et de tous les neutrons d'un noyau.

Grosse surprise, là, il nous faut constater que la masse totale est inférieure à la somme des masses susmentionnées ???

Que s'est-il passé, où est passée la masse perdue ?

C'est notre vieil ami Albert qui va nous aider à retrouver cette masse perdue en route.

$$E=mc^2$$

Numériquement, dans l'équation et dans le Système international d'unités :

- E est l'énergie exprimée en joules ;
- m est la masse (au repos) en kilogrammes ;
- c est la vitesse de la lumière dans le vide, soit 299 792 458 m/s = 2,997 924 58 $\times 10^8$ m/s (environ 300 000 km/s), ce qui correspond à un facteur c^2 d'environ $9 \times 10^{16} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$.

On peut vérifier *expérimentalement* que la racine carrée du rapport E/m est égale à c dans l'exemple suivant. Dans la désintégration du positronium, il y a création et émission de deux rayons gamma d'énergie (mesurée par rayon) 0,511 MeV = $0,8186 \times 10^{-13}$ J, en compensation de la disparition de deux masses d'électron.

La masse d'un électron étant de $9,11 \times 10^{-31}$ kg, on trouve bien :

$$\frac{E}{m} = \frac{0,82 \cdot 10^{-13} \text{ J}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}} = 9,0 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^{-2}$$

et donc :

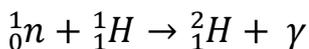
$$\sqrt{\frac{E}{m}} = 3,0 \cdot \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}} = c$$

Démonstration

Par exemple, nous allons prendre l'Hydrogène qui possède trois isotopes :

- ${}^1_1\text{H}$ Hydrogène qui ne contient pas de neutrons
- ${}^2_1\text{H}$ Deutérium qui contient 1 neutron
- ${}^3_1\text{H}$ Tritium qui contient 2 neutrons

Le Deutérium est généré en bombardant de l'Hydrogène avec des neutrons, la réaction est décrite par la relation :



Et là on constate le défaut de masse dans la réaction.

Dans cette réaction les masses en jeux sont les suivantes :

$$\text{Masse du neutron } m({}^1_0n) = m_n = 1,007276u$$

$$\text{Masse du proton } m({}^1_1p) = m_p = 1,008665u$$

$$\text{La somme des deux masses} = 2,015941u$$

Sachant que la masse du noyau de Deutérium au repos est la masse de l'atome de Deutérium – masse de l'électron

$$2,014102 - 0,000549 = 2,013553u$$

Calculons le défaut de masse :

$$2,015941 - 2,013553 = 0,002388u$$

$$\text{La différence le défaut de masse } \Delta m_0 = 0,002388u$$

Puisque cette masse est au repos elle vaut par la théorie de relativité une énergie :

$$\Delta E = \Delta m_0 c^2 = 0,002388u \times 931,5 \text{ MeV}/u = 2,2244 \text{ MeV}$$

Cette énergie manquante au noyau est perdue sous forme d'une radiation γ émise vers l'extérieur.

Cette énergie manquante est ce que l'on appelle le puits de potentiel* dans lequel les deux nucléons, le proton et le neutron, sont confinés en noyau.

On pourrait résumer par une métaphore thermodynamique : « le système perd tellement d'énergie qu'il gèle ».

* En physique, **puits de potentiel** désigne, le voisinage d'un minimum local d'énergie potentielle.

La liaison par nucléon.

On la calcule en divisant l'énergie de défaut de masse par le nombre de nucléons.

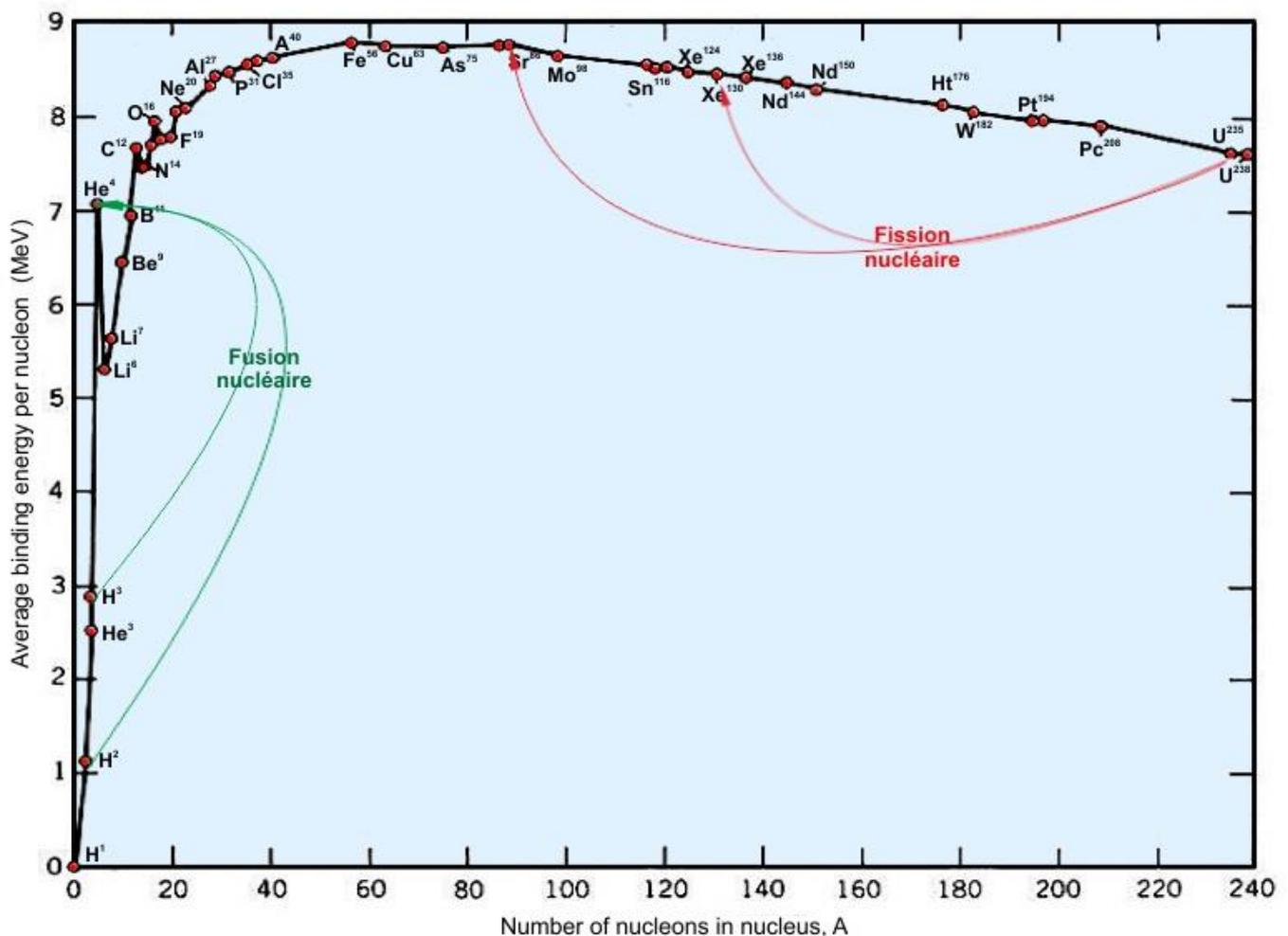
$$\frac{2.2244 \text{ MeV}}{2} = 1.1122 \text{ MeV}$$

Là, une question s'impose : Est-ce que cette énergie, calculé ici, comme exemple, avec le Deutérium, est une constante universelle, pour tous les nucléons de tous les noyaux et isotopes ?

La réponse est **NON !**

L'énergie de liaison par nucléon n'est pas la même suivant le nucléide (noyau). Elle est comprise entre 2 et 9 MeV.

Si l'on effectue ce calcul de l'énergie de liaison par nucléon pour tous les noyaux, on peut construire une courbe, la courbe d'Aston.



On constatera que c'est ^{62}Ni qui a la plus forte énergie de liaison par nucléon et non pas le ^{56}Fe comme le voit souvent écrit dans les ouvrages.

Le top 4 des noyaux ayant une énergie de liaison par nucléon les plus élevés sont :

$$^{62}\text{Ni}: 8,79460 \pm 0,00003 \text{ MeV}$$

$$^{53}\text{Fe}: 8,79223 \pm 0,00003 \text{ MeV}$$

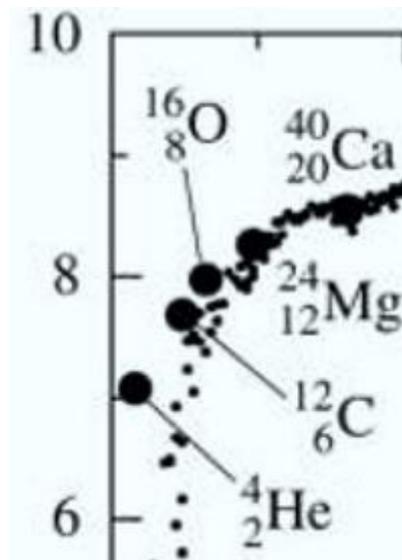
$$^{56}\text{Fe}: 8,79036 \pm 0,00003 \text{ MeV}$$

$$^{60}\text{Ni}: 8,78079 \pm 0,00003 \text{ MeV}$$

Les éléments intermédiaires relevant du pic du fer (Fe) : chrome (Cr), manganèse (Mn), cobalt (Co), nickel (Ni), situés au plateau de la courbe d'Aston, ont l'énergie de liaison par nucléon la plus forte et sont les plus stables ; leur fusion comme leur fission consomment des énergies colossales qui n'apparaissent que lors des explosions de supernovæ.

Remarque intéressante sur la courbe d'Aston

Sur la courbe ci-dessous on remarque que pour $A < 30$, plusieurs pics qui correspondent en fait aux noyaux de



Le noyau ^4_2He (particule alpha), est particulièrement stable. Les autres noyaux de cette série sont des multiples du noyau ^4_2He , ce qui peut expliquer leur grande stabilité.

Fusion et Fission

Lorsque l'on fusionne en réaction deux noyaux pour créer un noyau plus lourd on parle de fusion nucléaire, c'est une interaction nucléaire faible. Dans la fusion nucléaire, deux éléments légers (hydrogène, hélium...) produisent un dégagement d'énergie en fusionnant, à l'œuvre notamment dans le Soleil ou les bombes thermonucléaires, dites « bombes H »

A l'inverse si l'on brise un noyau lourd en deux noyaux plus légers cela produira une énergie égale à celle qui maintient ensemble les nucléons du noyau lourd. Dans la fission nucléaire, les éléments lourds (uranium, plutonium...) ne peuvent dégager de l'énergie qu'en se scindant, réaction mise en œuvre dans les centrales nucléaires ainsi que dans les bombes atomiques, dites « bombes A ». Cette réaction nucléaire s'accompagne de l'émission de neutrons (en général deux ou trois) et d'un dégagement d'énergie très important $\approx 200 \text{ MeV}$ (mégaélectronvolt) par atome fissionné, à comparer aux énergies des réactions chimiques qui sont de l'ordre de l'eV.

L'interaction forte est colossale, elle se mesure en MeV (millions d'électrons volts) très supérieure aux 3 autres que nous connaissons, force d'interaction gravitationnelle, force d'interaction électromagnétique et force d'interaction nucléaire faible, qui ne se mesurent qu'en eV, électrons volts.

Bibliographie :

- Au cœur de l'atome par Jacques Deferme
- Introduction à la physique nucléaire, Antoine KHATER - Université du Maine
- Wikipédia, Interaction forte, $E=mc^2$, liaison par nucléaire, etc.