ACTIVITE 3 : L'ENERGIE NUCLEAIRE

I. UNITE DE MASSE ATOMIQUE

Le kilogramme est une unité inadaptée à l'échelle du noyau atomique. En physique nucléaire on en utilise alors une autre : l'unité de masse atomique de symbole u. Cette unité est égale à 1/12 de la masse d'un atome de carbone 12.

1. Calculer la valeur d'une unité de masse atomique en kilogramme.
2. Compléter le tableau ci-contre :

	proton	neutron	électron (ou positon)
masses (en *u*)			

3. Un noyau contient *A* nucléons. En considérant (pour cette question seulement) que $m_p \approx m_n \approx 1$u, quelle est la masse approximative de ce noyau (en u) ? En déduire l'intérêt de cette unité.

Données :

	Atome de Carbone 12	Proton	Neutron	Electron
Masse (en kg)	$19{,}926\,48.10^{-27}$	$1{,}672\,62.10^{-27}$	$1{,}674\,93.10^{-27}$	$9{,}11.10^{-31}$

II. DEFAUT DE MASSE D'UN NOYAU

1. La masse d'un noyau d'uranium $^{235}_{92}U$ est égale à m_U =234,9935u. Comparer cette valeur à celle qu'on peut calculer à partir de la composition du noyau. Calculer l'écart relatif entre ces 2 masses.
2. Répondre à la même question pour le noyau de cuivre $^{63}_{29}Cu$ de masse m_c =62,91365u.

Les calculs précédents peuvent être étendus à tous les noyaux et on observe toujours une masse du noyau inférieur à celle de l'ensemble des protons et neutrons avec un écart relatif de l'ordre de 1%.

Pour tous les noyaux, on constate un défaut de masse Δm positif : $\boldsymbol{\Delta m = Z.m_p+(A-Z).m_n-m}$

3. Calculer le défaut de masse pour l'uranium $^{235}_{92}U$ et le cuivre $^{63}_{29}Cu$.

III. PRINCIPE D'EQUIVALENCE

En 1905, en élaborant sa théorie de la relativité restreinte, Einstein a aboutit à la conclusion suivante :

Toute particule de masse *m* possède au repos, une énergie *E* donnée par la relation : $\boldsymbol{E = mc^2}$ avec *E* en Joules ; *m* en kilogramme et *c* la célérité de la lumière dans le vide ($c \approx 3{,}0.10^8$ m.s^{-1}.)

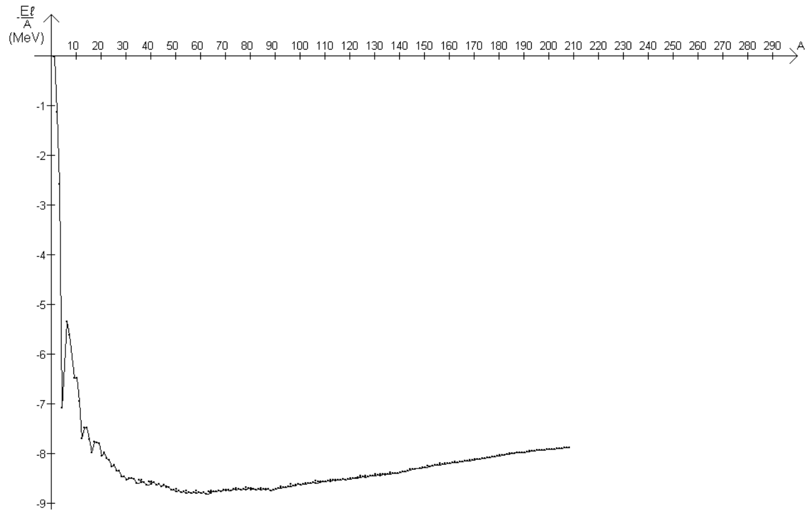
Il interprétait ainsi que le défaut de masse était dû à l'interaction forte entre les nucléons du noyau. Au défaut de masse Δm il associait alors une énergie E_l qu'il définissait comme l'énergie de liaison entre tous les nucléons du noyau.

1. Quelle relation peut-on écrire entre l'énergie de liaison E_l et le défaut de masse Δm ?
2. A l'échelle du noyau, le Joule est aussi une unité inadaptée et on utilise le méga-electron-volt (MeV) : 1 MeV=$1{,}6.10^{-13}$J. Quelle est l'énergie (en Joules puis en MeV) qui équivaut à une unité de masse atomique ? Dans les questions suivantes on prendra la valeur 931,5 MeV.
3. Calculer l'énergie de liaison E_l des noyaux d'Uranium $^{235}_{92}U$ et de cuivre $^{63}_{29}Cu$.
4. On sait que le noyau de cuivre 63 est plus stable que le noyau d'uranium 235. Peut-on affirmer que plus l'énergie de liaison est grande plus le noyau est stable ?
5. C'est l'énergie de liaison par nucléon $\dfrac{E_l}{A}$ qui permet de comparer la stabilité des noyaux. Calculer l'énergie de liaison par nucléon pour le noyau de cuivre 63 et pour le noyau d'uranium 235. Conclure.

III. COURBE D'ASTON

Professeur Barrandon Eric
BARRANDON@lamerci.com

L'énergie de liaison varie en fonction du nombre de masse du noyau. On représente ces différentes valeurs sur la **courbe d'Aston.**



1. Placer approximativement les noyaux :

- d'hydrogène 2(1MeV /nucléon)
- d'hyd rogène 3(2,8 MeV/nucléon)
- de cuivre 63
- d'uranium 235

2. On peut définir 3 domaines sur ce graphe :

• Le domaine des noyaux les plus stables ; pour quelles valeurs de *A* ?

• Deux domaines de noyaux moins stables ; pour quelles valeurs de *A* ? Quelle est la différence entre ces 2 domaines ?

3. Que peuvent faire les noyaux de chacun de autres domaines pour devenir plus stables ? Représenter ces transformations par des flèches en leur donnant un nom

IV. EXEMPLE DE REACTION DE FISSION

Bombardé par un neutron lent qu'il capture, un no yau d'uranium 235 peut donner naissance à un noyau de xénon 139 et à un noyau de strontium 94. Des neutrons sont éjectés et il y a émission d'un rayonnement γ.

L'équation -bilan s'écrit:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{139}_{54}Xe + ^{94}_{x}Sr + y\,^{1}_{0}n + \gamma \,.$$

Données : $m_{^{94}_{x}Sr} = 93{,}89460$ u ; $m_{^{139}_{54}Xe} = 138{,}888\,20$ u

1. Trouver les entiers *x* et *y* en appliquant les lois de conservation (à rappeler).

2. Calculer l'énergie (en MeV et en J) libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235 (on n église l'énergie cinétique du neutron incident) en calculant la variation de masse avant puis après le bombardement.

3. Quelle est, en MeV puis en J, l'énergie libérée par 1g d'uranium 235 ? Exprimer ensuite cette énergie en tep (une **t**onne **é**quivalent **p**étrole est l'énergie fournie par la combustion d'une tonne de pétrole : 1tep= 42GJ).

4. Sous quelles formes cette énergie est-elle libérée ?

5. Que peuvent faire ensuite les neutrons émis? Comment s'appelle une telle réaction ?

6. Que se passe t-il si la réaction n'est p as « contrôlée » ?

V. EXEMPLE DE REACTION DE FUSION

Les étoiles sont en permanence le siège de réactions de fusion nucléaire ;Voici les équations de certaines réactions susceptibles de se produire :

$$^{1}_{1}H + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{A_1}_{Z_1}X_1 + ^{0}_{1}e \qquad \textbf{(1)}$$

$$^{A_1}_{Z_1}X_1 + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{3}_{2}He \qquad \textbf{(2)}$$

$$^{3}_{2}He + ^{3}_{2}He \rightarrow ^{A_2}_{Z_2}X_2 + 2\,^{1}_{1}H \qquad \textbf{(3)}$$

Professeur Barrandon Eric
BARRANDON@lamerci.com

1. En appliquant les lois de conservation de Soddy, trouver Z_1, A_1, Z_2, A_2.

2. Identifier les noyaux X_1 et X_2.

3. Montrer que si l'on combine (1), (2) et (3) on obtient l'équation bilan équivalente à ces 3 réactions nucléaires :

$$4\,{}_{1}^{1}H \rightarrow {}_{2}^{4}He + 2\,{}_{1}^{0}e$$

4. Calculer l'énergie libérée lors de la fusion des quatre protons. Masse $m_{{}_{2}^{4}He} = 4{,}0015\text{u}$

5. Quelle est l'énergie libérée par la formation d'un gramme d'hélium ? La convertir en tep. Conclure.

Professeur Barrandon Eric Lycée La Merci
BARRANDON@lamerci.com