

Approfondissement Transformations nucléaires

Défaut de masse, courbe d'Aston, famille de l'uranium, Oklo, datation

5 exercices · niveau ●●● · durée conseillée : 2 h 30 · calculatrice autorisée

Exercice 1 D'où vient vraiment l'énergie d'une fission ?

●●●

(Hors programme — pour aller plus loin. La relation $E = mc^2$ est fournie.) Lors d'une réaction nucléaire, la masse totale diminue très légèrement; la masse « disparue » m et l'énergie libérée E sont liées par $E = mc^2$. On étudie la fission ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{140}_{54}\text{Xe} + {}^{94}_{38}\text{Sr} + 2 {}^1_0\text{n}$.

Masses (données avec six chiffres, car la différence recherchée est très petite) : $m({}^{235}\text{U}) = 3,903\,00 \times 10^{-25} \text{ kg}$; $m({}^{140}\text{Xe}) = 2,323\,46 \times 10^{-25} \text{ kg}$; $m({}^{94}\text{Sr}) = 1,559\,50 \times 10^{-25} \text{ kg}$; $m({}^1_0\text{n}) = 1,674\,93 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

■ **DONNÉES** $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ • $1 \text{ MeV} = 1,60 \times 10^{-13} \text{ J}$

- 1.1 Calculer la masse totale avant la réaction, puis la masse totale après la réaction.
- 1.2 En déduire la masse m qui a « disparu ». Quel pourcentage de la masse initiale représente-t-elle ?
- 1.3 Calculer l'énergie E libérée par cette fission, en J puis en MeV.
- 1.4 On retient souvent la valeur moyenne $3,2 \times 10^{-11} \text{ J}$ par fission : calculer l'écart relatif avec le résultat de la question 1.3 et l'expliquer (un noyau d'uranium 235 peut se scinder de nombreuses façons; les noyaux formés, radioactifs, libèrent encore de l'énergie en se transformant).
- 1.5 Pourquoi une réaction chimique ne permet-elle pas de mettre en évidence une variation de masse, alors que la conservation de la masse y est vérifiée avec une excellente précision ?

Exercice 2 La courbe d'Aston : pourquoi fission et fusion ?

●●●

■ **DONNÉES** $1 \text{ MeV} = 1,60 \times 10^{-13} \text{ J}$

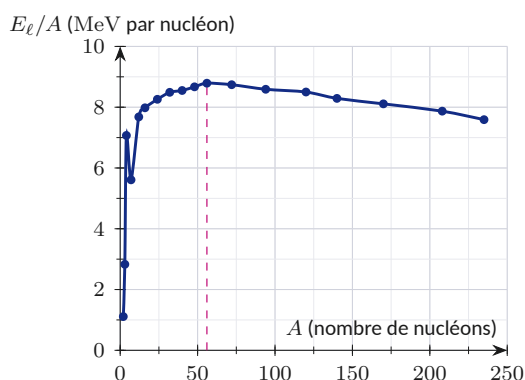


Figure 1 — Énergie de liaison par nucléon

(Hors programme — pour aller plus loin.) L'énergie de liaison E_l d'un noyau est l'énergie qu'il faudrait fournir pour séparer complètement tous ses nucléons. La figure 1 donne E_l/A : plus ce rapport est grand, plus le noyau est « solidement lié ». L'énergie libérée par une réaction nucléaire est égale à l'augmentation de l'énergie de liaison totale. Le tableau ci-dessous donne les valeurs utiles (un neutron isolé a une énergie de liaison nulle).

- 2.1 Décrire l'allure de la courbe et indiquer pour quelle valeur de A elle passe par un maximum. Vérifier que les valeurs du tableau sont cohérentes avec la courbe.

Noyau	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	${}^4_2\text{He}$	${}^{56}_{26}\text{Fe}$	${}^{94}_{38}\text{Sr}$	${}^{140}_{54}\text{Xe}$	${}^{235}_{92}\text{U}$
E_l/A (MeV par nucléon)	1,11	2,83	7,07	8,79	8,59	8,29	7,59

- 2.2 Pour la fusion ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$, calculer l'énergie de liaison totale avant, puis après la réaction. En déduire l'énergie libérée, en MeV.
- 2.3 Reprendre la même méthode pour la fission ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{140}_{54}\text{Xe} + {}^{94}_{38}\text{Sr} + 2 {}^1_0\text{n}$. Convertir le résultat en joules et le comparer à celui de l'exercice 1.
- 2.4 Expliquer, à l'aide de la figure 1, pourquoi la fusion de noyaux légers et la fission de noyaux lourds libèrent toutes deux de l'énergie, alors qu'aucune réaction de ce type ne libère d'énergie à partir du fer.

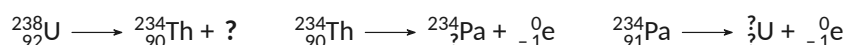
Exercice 3 La famille radioactive de l'uranium 238



Un noyau d'uranium 238 se transforme en une suite de noyaux, chacun se transformant à son tour, jusqu'à aboutir au plomb 206, qui est stable. Chaque transformation émet une particule α (${}^4_2\text{He}$) ou une particule β^- (${}^0_{-1}\text{e}$).

■ **DONNÉES** Conservation de A et de Z • numéros atomiques : Pb (82) ; Po (84)

3.1 Compléter les trois premières étapes de la famille :



3.2 On note x le nombre total d'émissions α et y le nombre total d'émissions β^- entre l'uranium 238 et le plomb 206. Écrire la conservation du nombre de masse, puis celle du nombre de charge, et en déduire x et y .

3.3 Le radon 222 ($Z = 86$) de cette famille est un gaz, contrairement à tous les autres éléments de la chaîne. Expliquer pourquoi on mesure sa concentration dans l'air des caves et des rez-de-chaussée des régions granitiques.

3.4 Écrire l'équation de la transformation du radon 222 en polonium 218 et préciser la particule émise.

3.5 Le plomb 206 est stable : que signifie cette phrase pour la suite de transformations ? Justifier que l'élément chimique plomb, lui, n'est pas produit par une transformation chimique.

Exercice 4 Oklo, le réacteur nucléaire naturel



En 1972, un contrôle de routine révèle qu'un minerai d'uranium extrait du site d'Oklo, au Gabon, ne contient que 0,44 % d'uranium 235, au lieu des 0,72 % de tout uranium naturel. On l'explique ainsi : il y a 2,0 milliards d'années, une réaction en chaîne s'est entretenue naturellement dans ce gisement, l'eau souterraine jouant le rôle de modérateur. À cette époque, l'uranium naturel contenait 3,7 % d'uranium 235.

■ **DONNÉES** 1 an = $3,15 \times 10^7$ s • fission de 1 kg d'uranium 235 : $8,2 \times 10^{13}$ J

4.1 Quelle proportion de l'uranium 235 initialement présent a disparu du minerai d'Oklo ?

4.2 Les réacteurs actuels utilisent un combustible enrichi à 4 % environ en uranium 235. Expliquer pourquoi une réaction en chaîne naturelle était possible il y a 2,0 milliards d'années et ne l'est plus aujourd'hui.

4.3 Le phénomène a duré environ 150 000 ans, en libérant une puissance thermique moyenne de 100 kW. Calculer l'énergie totale libérée, puis la masse d'uranium 235 consommée. Exprimer cette masse en tonnes.

4.4 Les produits de fission formés à Oklo sont, pour l'essentiel, restés piégés dans la roche depuis deux milliards d'années. En quoi ce site intéresse-t-il les spécialistes du stockage des déchets radioactifs ?

Exercice 5 Dater avec le carbone 14



(Hors programme — pour aller plus loin.) Le carbone 14, formé en permanence dans l'atmosphère, se transforme selon ${}^{14}_6\text{C} \longrightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$. On appelle *demi-vie* la durée $t_{1/2}$ au bout de laquelle la moitié des noyaux ${}^{14}_6\text{C}$ d'un échantillon se sont transformés ; pour le carbone 14, $t_{1/2} = 5\,700$ ans. Tant qu'un être vivant échange du carbone avec son milieu, la proportion de ${}^{14}_6\text{C}$ de ses tissus reste constante ; elle diminue à partir de sa mort.

5.1 Recopier et compléter le tableau ci-dessous.

Durée écoulée (ans)	0	5 700			
Nombre de demi-vies	0	1	2	3	4
Proportion de ${}^{14}_6\text{C}$ restante	100 %				

5.2 Un fragment d'os contient 25 % du carbone 14 d'un os d'animal vivant. Quel est son âge ?

5.3 Un charbon de bois d'une grotte ornée contient 3,1 % du carbone 14 d'un bois actuel. Estimer son âge.

5.4 Au-delà de neuf demi-vies, la proportion restante devient trop faible pour être mesurée avec précision. Calculer cette proportion et la durée correspondante : quelle est la limite d'âge de la méthode ?

5.5 Pourquoi ne peut-on pas dater ainsi un os de dinosaure, vieux de 65 millions d'années ?