Production d'énergie nucléaire

Bac S 2006 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Partie I (fission). Définir le terme demi-vie.

La demi-vie $t_{1/2}$ d'un noyau radioactif est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon se soient désintégrés.

COMPRENDRE
La demi-vie ne dépend que du type de noyau, pas de la quantité initiale ni de la date choisie comme origine : après $2\,t_{1/2}$ il reste un quart des noyaux, après $3\,t_{1/2}$ un huitième.

2 Partie I. Définir l'activité d'une source radioactive et préciser son unité dans le Système International.

L'activité A d'une source est le nombre moyen de désintégrations qui s'y produisent par unité de temps.

Unité SI : le becquerel (Bq) ; 1 Bq = 1 désintégration par seconde.

PIÈGE
Confondre l'activité A avec le nombre de nucléons, noté A lui aussi dans la suite de l'exercice.

3.1 Partie I. Déterminer les valeurs des nombres A et Z dans l'équation de la fission de l'uranium 235.

Données utiles $^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{94}_{Z}\mathrm{Sr} + {}^{A}_{54}\mathrm{Xe} + 3\,{}^{1}_{0}\mathrm{n}$

Lois de conservation (lois de Soddy) :

- nombre de nucléons : $235 + 1 = 94 + A + 3 \times 1$, donc $A = 236 - 97 = 139$;
- nombre de charge : $92 + 0 = Z + 54 + 3 \times 0$, donc $Z = 92 - 54 = 38$.

$A = 139$ et $Z = 38$: les noyaux formés sont $^{94}_{38}\mathrm{Sr}$ et $^{139}_{54}\mathrm{Xe}$.

PIÈGE
Oublier le coefficient 3 devant le neutron : les trois neutrons émis comptent pour trois nucléons.

3.2 Partie I. Calculer en MeV l'énergie libérée par cette réaction de fission.

Données utiles $m(\mathrm{U}) = 234{,}9942$ u ; $m(\mathrm{Sr}) = 93{,}8945$ u ; $m(\mathrm{Xe}) = 138{,}8892$ u ; $m(\mathrm{n}) = 1{,}00866$ u ; énergie de masse de 1 u : 931,5 MeV

Variation de masse au cours de la réaction (un neutron consommé, trois formés) :

$$\Delta m = m(\mathrm{Sr}) + m(\mathrm{Xe}) + 3\,m(\mathrm{n}) - m(\mathrm{U}) - m(\mathrm{n})$$

$$\Delta m = m(\mathrm{Sr}) + m(\mathrm{Xe}) + 2\,m(\mathrm{n}) - m(\mathrm{U})$$

$$\Delta m = 93{,}8945 + 138{,}8892 + 2 \times 1{,}00866 - 234{,}9942 = -0{,}1932 \text{ u}$$

La masse diminue : le système cède au milieu extérieur l'énergie $E_{\text{lib}} = |\Delta m|\,c^2$. Comme 1 u correspond à 931,5 MeV :

$$E_{\text{lib}} = 0{,}1932 \times 931{,}5 = 180 \text{ MeV}$$

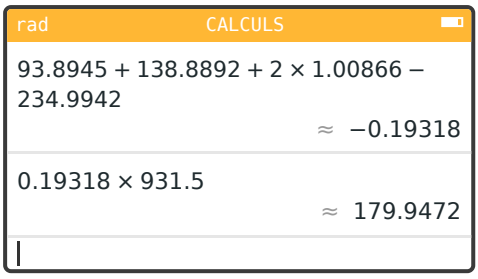
$E_{\text{lib}} = 180$ MeV par noyau d'uranium 235 fissionné.

PIÈGE
Calculer $m(\text{produits}) - m(\text{réactifs})$ donne une valeur négative : l'énergie libérée est sa valeur absolue, à annoncer positive.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : les masses sont connues à 10^{-4} u, donc $|\Delta m| = 0{,}1932$ u (quatre chiffres). Le résultat 179,9 MeV s'arrondit à 180 MeV.

MÉTHODE
Avec les masses en u, multiplier directement $|\Delta m|$ par 931,5 MeV. Passer par les kilogrammes, c^2 puis les joules donne le même résultat, avec trois conversions de plus.

À LA CALCULATRICE



3.3 Partie I. Quelle est l'énergie libérée par nucléon de matière participant à la réaction ?

Données utiles $E_{\text{lib}} = 180$ MeV (3.2)

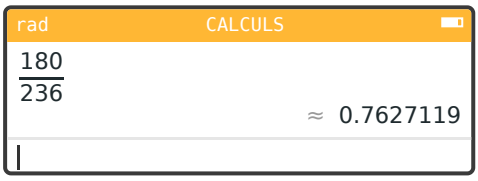
Nucléons participant à la réaction : ceux de l'uranium et le neutron incident, soit $235 + 1 = 236$ nucléons.

$$\frac{E_{\text{lib}}}{236} = \frac{180}{236} = 0{,}763 \text{ MeV}$$

Fission : $0{,}763\ \text{MeV}$ libérés par nucléon.

PIÈGE
Diviser par 235 en oubliant le neutron qui provoque la fission : il fait partie de la matière engagée.

À LA CALCULATRICE



1.1 Partie II (fusion). Définir le terme de noyaux isotopes.

Des noyaux isotopes ont le même nombre de protons Z (même élément chimique) mais des nombres de neutrons différents, donc des nombres de nucléons A différents.

1.2 Partie II. Donner la composition des noyaux de deutérium $^{2}_{1}\text{H}$ et de tritium $^{3}_{1}\text{H}$.

Un noyau $^{A}_{Z}\text{X}$ contient Z protons et $A - Z$ neutrons.

Deutérium $^{2}_{1}\text{H}$: 1 proton et 1 neutron. Tritium $^{3}_{1}\text{H}$: 1 proton et 2 neutrons.

2 Partie II. Qu'appelle-t-on réaction de fusion ?

Une fusion est une réaction nucléaire provoquée au cours de laquelle deux noyaux légers s'assemblent pour former un noyau plus lourd, en libérant de l'énergie.

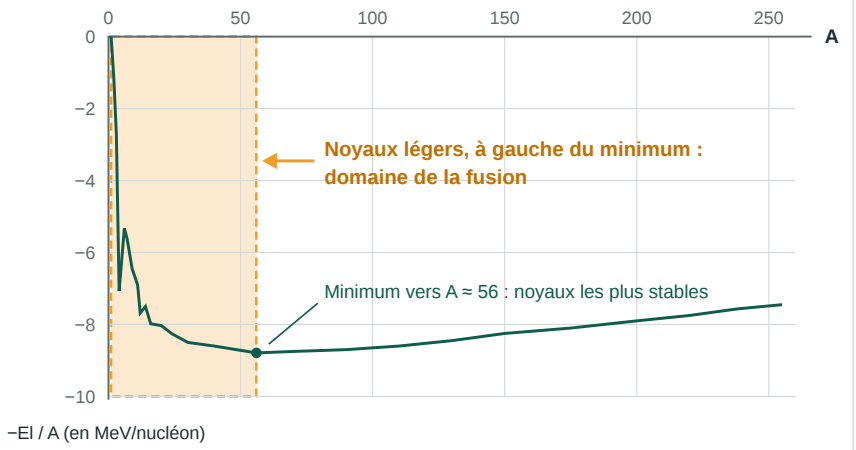
COMPRENDRE
Les deux noyaux, chargés positivement, se repoussent : la fusion exige des vitesses, donc une température, très élevées. C'est la difficulté technique que le projet ITER cherche à surmonter.

3 Partie II. Sur la courbe d'Aston (annexe), indiquer dans quel domaine se trouvent les noyaux susceptibles de donner une réaction de fusion.

Les noyaux les plus stables sont au minimum de la courbe, vers $A \approx 56$. Une fusion libère de l'énergie si le noyau formé est plus bas sur la courbe que les noyaux de départ.

Domaine de la fusion : les noyaux légers, sur la partie gauche de la courbe (A inférieur à 56 environ, surtout les tout premiers noyaux).

COMPRENDRE
L'ordonnée est $-E_l/A$: plus un noyau est bas, plus ses nucléons sont liés. À droite du minimum, les noyaux lourds gagnent en stabilité en se cassant : c'est le domaine de la fission.



3 · Annexe complétée : courbe d'Aston et domaine de la fusion

4 Partie II. Écrire l'équation de la réaction entre un noyau de deutérium et un noyau de tritium, qui libère un neutron et un noyau ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$. Préciser la nature de ce noyau.

${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$

Conservation du nombre de nucléons : $2 + 3 = A + 1$, donc $A = 4$. Conservation du nombre de charge : $1 + 1 = Z + 0$, donc $Z = 2$: l'élément est l'hélium.

${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$: le noyau formé est un noyau d'hélium 4.

5 Partie II. Montrer que l'énergie libérée au cours de cette fusion est de 17,6 MeV. Quelle est l'énergie libérée par nucléon de matière participant à la réaction ?

Données utiles $m({}^{2}\mathrm{H}) = 2{,}01355$ u ; $m({}^{3}\mathrm{H}) = 3{,}01550$ u ; $m({}^{4}\mathrm{He}) = 4{,}00150$ u ; $m(\mathrm{n}) = 1{,}00866$ u ; énergie de masse de 1 u : 931,5 MeV

$\Delta m = m({}^{4}\mathrm{He}) + m(\mathrm{n}) - m({}^{2}\mathrm{H}) - m({}^{3}\mathrm{H})$

$\Delta m = 4{,}00150 + 1{,}00866 - 2{,}01355 - 3{,}01550 = -0{,}01889$ u

$E_{\text{lib}} = |\Delta m|\, c^2 = 0{,}01889 \times 931{,}5 = 17{,}6$ MeV : c'est la valeur annoncée.

Nucléons participant à la réaction : $2 + 3 = 5$, d'où $\dfrac{E_{\text{lib}}}{5} = \dfrac{17{,}6}{5} = 3{,}52$ MeV.

$E_{\text{lib}} = 17{,}6$ MeV (valeur attendue : 17,6 MeV), soit $3{,}52$ MeV par nucléon.

PIÈGE
Arrondir les masses avant la soustraction : la différence ne porte que sur les derniers chiffres, toutes les décimales du tableau sont nécessaires.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$4.00150 + 1.00866 - 2.01355 - 3.01550 \approx -0.01889$

$0.01889 \times 931.5 \approx 17.59604$

$\frac{17.6}{5} \approx 3.52$

6 Partie II. Conclure sur l'intérêt du projet ITER : avantages de la fusion par rapport à la fission pour produire de l'électricité.

Données utiles fission : 0,763 MeV par nucléon (3.3) ; fusion : 3,52 MeV par nucléon (5)

- Énergie : $\frac{3{,}52}{0{,}763} \approx 4{,}6$. À masse de combustible égale, la fusion libère près de cinq fois plus d'énergie que la fission.
- Déchets : la fission laisse des produits très actifs, dont la demi-vie peut être très longue. La fusion en génère très peu, à 90 % de faible ou moyenne activité, et le tritium consommé a une demi-vie courte (15 ans).

La fusion fournirait davantage d'énergie par nucléon, avec des déchets moins abondants, moins actifs et de durée de vie plus courte : c'est l'intérêt du projet ITER.

MÉTHODE
Pour une question « conclure », s'appuyer sur les résultats chiffrés des deux parties et sur les informations du texte, puis terminer par une phrase qui répond à la question posée.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{3.52}{0.763} \approx 4.613368$