Problème 1

Comment peut-on retrouver la disposition de certains noyaux atomiques sur la courbe d'Aston ?

Problème 2

La fusion nucléaire du deuterium et du tritium libère-t-elle plus d'énergie par nucléon participant à la réaction que la fission de l'uranium en strontium et en xenon ? Ces réactions nucléaires sont-elles plus intéressantes que la combustion du pétrole, sachant que la combustion d'une tonne de pétrole dégage $4{,}2.10^{10}$ J d'énergie thermique (1 tep) ?

Correction problème 1

Principe de résolution :

La courbe d'Aston représente l'énergie de liaison par nucléon d'un noyau en fonction de son nombre de nucléons. Or l'énergie de liaison (ou énergie de cohésion) totale d'un noyau est l'énergie qu'il faut fournir pour séparer ses nucléons liés par l'interaction forte. Cette énergie est donc égale à l'énergie du défaut de masse entre le noyau atomique et ses nucléons séparés.
Une fois obtenue l'énergie de liaison pour l'ensemble du noyau, il ne reste plus qu'à la diviser par le nombre de nucléons

- Etape 1 : exprimer le défaut de masse entre le noyau et ses nucléons séparés.
- Etape 2 : exprimer l'énergie de cohésion du noyau qui est égale à l'énergie du défaut de masse.
- Etape 3 : en exprimant la masse en kg, calculer l'énergie du défaut de masse en J, puis convertir en MeV.
- Etape 4 : calculer l'énergie de cohésion par nucléon en divisant par le nombre de nucléons et comparer avec la courbe d'Aston.

Correction problème 2

Principe de résolution :

l'énergie libérée par une réaction nucléaire est égale à l'énergie du défaut de masse de la réaction, c'est-à-dire l'énergie de la masse manquante (ou perdue) entre les produits et les réactifs. Il ne reste plus qu'à diviser cette énergie par le nombre de nucléons impliqués dans la réaction.
Pour comparer avec le pétrole, il faut multiplier l'énergie dégagée par nucléon par le nombre de nucléons contenus dans 1 tonne de matière, sachant que le proton et le neutron ont quasiment la même masse et que la masse des électrons est négligeable.

Il est également possible de calculer l'énergie de cohésion de chacun des noyaux, puis de faire la différence entre les produits et les réactifs.

<table>
<tr><td colspan="2">• Etape 1 : écriture des réactions nucléaires.</td></tr>
<tr><td>Réaction de fission : ${}^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{94}_{38}\mathrm{Sr} + {}^{139}_{54}\mathrm{Xe} + 3\ {}^{1}_{0}\mathrm{n}$</td><td>Réaction de fusion : ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">• Etape 2 : expression du défaut de masse pour chacune des réactions.
$$\Delta m = \sum_{produits} m - \sum_{réactifs} m$$</td></tr>
</table>

$$\Delta m_{fission} = m\left({}^{94}_{38}\text{Sr}\right) + m\left({}^{139}_{54}\text{Xe}\right) + 3\,\text{m}\left({}^{1}_{0}\text{n}\right) - m\left({}^{235}_{92}\text{U}\right) - \text{m}\left({}^{1}_{0}\text{n}\right)$$

$$\Delta m_{fission} = m\left({}^{94}_{38}\text{Sr}\right) + m\left({}^{139}_{54}\text{Xe}\right) + 2\,\text{m}\left({}^{1}_{0}\text{n}\right) - m\left({}^{235}_{92}\text{U}\right)$$

$$\Delta m_{fusion} = m\left({}^{4}_{2}He\right) + \text{m}\left({}^{1}_{0}\text{n}\right) - m\left({}^{3}_{1}H\right) - \text{m}\left({}^{2}_{1}H\right)$$

- Etape 3 : expression de l'énergie dégagée qui est égale à l'énergie du défaut de masse.

D'après la relation d'équivalence masse-énergie : $\Delta E = |\Delta m| \times c^2$

$$\Delta E_{fission} = \left| m\left({}^{94}_{38}\text{Sr}\right) + m\left({}^{139}_{54}\text{Xe}\right) + 2\,\text{m}\left({}^{1}_{0}\text{n}\right) - m\left({}^{235}_{92}\text{U}\right) \right| \times c^2$$

$$\Delta E_{fusion} = \left| m\left({}^{4}_{2}He\right) + \text{m}\left({}^{1}_{0}\text{n}\right) - m\left({}^{3}_{1}H\right) - \text{m}\left({}^{2}_{1}H\right) \right| \times c^2$$

- Etape 4 : calcul de l'énergie du défaut de masse et division par le nombre de nucléons.

$$\Delta E_{fission} = |138,8892 + 93,8945 + 2 \times 1,00866 - 234,9942| \times 1,66054.10^{-27} \times \left(3,00.10^{8}\right)^2$$

$$\Delta E_{fission} = 2,88.10^{-11}\ \text{J} = 180\,MeV$$

Or, le nombre de nucléons est de 236.

Donc par nucléon :

$$\Delta E_{fission} / A = \frac{180}{236} = 0,76 \text{ MeV par nucléon}$$

$$\Delta E_{fusion} = |\ 4,00150 + 1,00866 - 3,01550 - 2,01355| \times 1,66054.10^{-27} \times \left(3,00.10^{8}\right)^2$$

$$\Delta E_{fusion} = 2,82.10^{-12}\ \text{J} = 17,6\,MeV$$

Or, le nombre de nucléons est de 5.

Donc par nucléon :

$$\Delta E_{fusion} / A = \frac{17,6}{5} = 3,53 \text{ MeV par nucléon}$$

- Etape 5 : calcul de l'énergie dégagée pour 1 tonne de matière par proportionnalité.

Masse d'un nucléon : $m_n = 1,67.10^{-27}$ *kg.*

Dans une tonne de matière il y a donc $N = \frac{10^3}{1,67.10^{-27}} = 6.10^{29}$ nucléons.

Donc l'énergie dégagée par une tonne de matière qui fissionne est : $\left(\Delta E_{fission}\right)_{tonne} = 6.10^{29} \times 0,76 \times 1,6.10^{-13} =$ $7,3.10^{16}$ J soit plus d'un million de fois plus que la combustion d'une tonne de pétrole.

Pour la fusion :
$\left(\Delta E_{fusion}\right)_{tonne} = 6.10^{29} \times 3,53 \times 1,6.10^{-13} = 3,4.10^{17}$ J
soit près de 10 millions de fois plus que la combustion d'une tonne de pétrole.