

1S2 - Physique-Chimie
Devoir à la maison n°1
Proposition de correction

FISSION DANS UN SOUS-MARIN NUCLÉAIRE

1. Variation de masse au cours de la réaction nucléaire :

$$\begin{aligned}\Delta m_r &= [m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}] \\ &= [m({}_{40}^{95}\text{Zr}) + m({}_{52}^{138}\text{Te}) + 3 \cdot m_n] - [m({}_{92}^{235}\text{U}) + m_n] \\ &= m({}_{40}^{95}\text{Zr}) + m({}_{52}^{138}\text{Te}) + 2 \cdot m_n - m({}_{92}^{235}\text{U}) \\ &= [94,88604 + 137,90067 + 2 \times 1,00866 - 234,99333] \\ &= -1,89300 \cdot 10^{-1} \text{ u} \\ &= -3,14342 \cdot 10^{-28} \text{ kg}\end{aligned}$$

2. Énergie libérée par cette réaction (sous forme d'énergie cinétique des particules donc sous forme thermique pour l'utilisateur) :

$$\begin{aligned}\Delta E_r &= \Delta m_r \cdot c^2 \\ &= -3,14342 \cdot 10^{-28} \times (2,9979 \cdot 10^8)^2 \\ &= -2,8251 \cdot 10^{-11} \text{ J} \\ &= -176,3 \text{ MeV}\end{aligned}$$

- 3.** Cette réaction de fission libère de l'énergie car le système perd de la masse au cours de la transformation. Cette masse perdue est convertie en énergie en vertu de la loi d'équivalence masse-énergie d'Einstein. En termes de stabilité, le noyau lourd fissile est plutôt en altitude dans la vallée de stabilité alors que les noyaux fils, plus légers, sont situés plus bas. Le noyau lourd peut donc subir une fission puisqu'elle va permettre au système de descendre dans la vallée de stabilité et donc d'être plus stable.

4. Fonctionnement du sous-marin pendant un mois

4.1. Énergie mise en jeu durant 30 jours :

$$E_{30j} = P \cdot \Delta t = 25 \cdot 10^6 \times [30 \times 24 \times 60 \times 60] = 6,5 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

4.2. Nombre N de noyaux d'uranium consommés en 30 jours :

$$N_{30j} = \frac{E_{30j}}{|\Delta E_r|} = \frac{6,5 \cdot 10^{13}}{2,8251 \cdot 10^{-11}} = 2,3 \cdot 10^{24} \text{ noyaux}$$

4.3. Masse d'uranium 235 consommé en 30 jours :

$$m_{30j} = N_{30j} \cdot m({}_{92}^{235}\text{U}) = 2,3 \cdot 10^{24} \times (234,99333 \times 1,66055 \cdot 10^{-27}) = 9,0 \cdot 10^{-1} \text{ kg}$$

4.4. Puisque le combustible ne contient que 90% en masse d'uranium 235, la masse de combustible contenant 900 g d'uranium 235 est de 1,0 kg. Il suffit donc de disposer d'un kilogramme de combustible pour assurer le fonctionnement du sous-marin pendant 30 jours.

5. Désintégrations β^- des noyaux fils

5.1. ${}^{95}_{40}\text{Zr} \rightarrow {}^{95}_{41}\text{Nb} + {}^0_{-1}\text{e} + {}^0_0\bar{\nu}_e$ (1) et ${}^{138}_{52}\text{Te} \rightarrow {}^{138}_{53}\text{I} + {}^0_{-1}\text{e} + {}^0_0\bar{\nu}_e$ (2)

5.2. Calcul des pertes de masse au cours des réactions (1) et (2) :

$$\begin{aligned}\Delta m_{r_1} &= m({}^{95}_{41}\text{Nb}) + m_e - m({}^{95}_{40}\text{Zr}) & \Delta m_{r_2} &= m({}^{138}_{53}\text{I}) + m_e - m({}^{138}_{52}\text{Te}) \\ &= 94,88429 + 0,00055 - 94,88604 & &= 137,89324 + 0,00055 - 137,90067 \\ &= -1,2 \cdot 10^{-3} \text{ u} & &= -6,9 \cdot 10^{-3} \text{ u} \\ &= -2,0 \cdot 10^{-30} \text{ kg} & &= -1,1 \cdot 10^{-29} \text{ kg}\end{aligned}$$

Calcul des énergies libérées au cours des réactions (1) et (2) :

$$\begin{aligned}\Delta E_{r_1} &= \Delta m_{r_1} \cdot c^2 & \Delta E_{r_2} &= \Delta m_{r_2} \cdot c^2 \\ &= -2,0 \cdot 10^{-30} \times (2,9979 \cdot 10^8)^2 & &= -1,1 \cdot 10^{-29} \times (2,9979 \cdot 10^8)^2 \\ &= -1,8 \cdot 10^{-13} \text{ J} & &= -9,9 \cdot 10^{-13} \text{ J} \\ &= -1,1 \text{ MeV} & &= -6,2 \text{ MeV}\end{aligned}$$

On constate que ces deux énergies sont très inférieures (environ 160 et 30 fois plus faibles respectivement) à celle libérée par la réaction de fission. On peut en déduire que l'énergie nécessaire à la propulsion du sous-marin est apportée quasi exclusivement par la réaction de fission et que ces désintégrations ne jouent qu'un rôle très secondaire, voire négligeable, dans la production d'énergie à l'échelle du sous-marin.