

TS	Physique	Réaction de fission dans une centrale nucléaire	Exercice résolu
----	----------	---	-----------------

Enoncé

Dans une centrale nucléaire, les noyaux d'uranium (${}^{235}_{92}\text{U}$) subissent la fission sous le choc d'un neutron lent. Un des nombreux processus possibles conduit à la formation d'un noyau de lanthane (${}^{144}_{57}\text{La}$), d'un noyau de brome (${}^{88}_{35}\text{Br}$) et de plusieurs neutrons.

1.
 - a) Définissez l'énergie de liaison d'un noyau.
 - b) Donnez l'expression littérale qui permettra son calcul.

2.
 - a) Calculez, en MeV, l'énergie de liaison d'un noyau (${}^{235}_{92}\text{U}$).
 - b) Calculez l'énergie de liaison par nucléon de ce noyau.

3. Ecrivez l'équation de la réaction de fission étudiée.

4.
 - a) Exprimez l'énergie libérée par la fission d'un noyau (${}^{235}_{92}\text{U}$) en fonction des énergies de liaison par nucléon du noyau père et des noyaux fils.
 - b) Calculez la valeur de cette énergie en MeV.

5. Dans le cœur de la centrale, de nombreuses autres réactions de fission du noyau (${}^{235}_{92}\text{U}$) se produisent. La perte de masse est, en moyenne, de 0,200 u par noyau.
 - a) Calculez, en MeV, l'énergie moyenne libérée par la fission d'un noyau. Ce résultat est-il en concordance avec celui de la question 4 ?
 - b) Calculez, en joule, l'énergie moyenne libérée par une mole de noyaux (${}^{235}_{92}\text{U}$).

6. Dans une centrale nucléaire, l'énergie nucléaire est transformée en énergie électrique. Une centrale fournit une puissance électrique moyenne $\mathcal{P}_e = 1000$ MW avec un rendement $r = 25\%$.
 - a) Quelle est sa puissance nucléaire \mathcal{P}_n consommée ?
 - b) Quelle est, en joule, l'énergie nucléaire consommée chaque année ?
 - c) Quelle est, en tonne, la masse d'uranium 235 consommée annuellement ?

Données :

- Constante d'Avogadro : $\mathcal{N}_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- $1 \text{ u} = 1,66055 \times 10^{-27} \text{ kg}$ et $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
- Masse d'un proton : $m({}_1^1\text{p}) = 1,0073 \text{ u}$
- Masse d'un neutron : $m({}_0^1\text{n}) = 1,0087 \text{ u}$
- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- Masse du noyau d'uranium 235 : $m({}^{235}_{92}\text{U}) = 235,0134 \text{ u}$
- Energies de liaison par nucléon :
 - $E_l/A({}^{144}_{57}\text{La}) = 8,28 \text{ MeV/nucléon}$
 - $E_l/A({}^{88}_{35}\text{Br}) = 8,56 \text{ MeV/nucléon}$

Corrigé

1. a) L'énergie de liaison d'un noyau A_ZX est l'énergie qu'il faut lui fournir, lorsqu'il est au repos, pour le dissocier en ses nucléons au repos, à l'infini (c'est-à-dire sans interaction entre eux).

b) Son expression littérale est :

$$E_{\text{liaison}} = [Z.m(p) + (A-Z).m(n) - m({}^A_ZX)].c^2$$

2. a) L'énergie de liaison du noyau ${}^{235}_{92}\text{U}$ est :

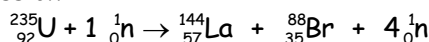
$$E_{\text{liaison}} = [(92 \times 1,0073) + (143 \times 1,0087) - 235,0134] \times 1,66055 \cdot 10^{-27} \times (2,998 \cdot 10^8)^2 / 1,602 \cdot 10^{-13}$$

$$\text{soit } E_{\text{liaison}} = 1772 \text{ MeV}$$

b) Son énergie de liaison par nucléon est : $E_0 = E_{\text{liaison}} / A$

$$\text{soit } E_0 = \frac{1772}{235} = 7,540 \text{ MeV/nucléon}$$

3) Equation de la réaction de fission :



4) a) La séparation d'un noyau d'uranium en nucléons consomme de l'énergie (1772 MeV, cf 2). La formation des noyaux fils à partir de ces mêmes nucléons libère de l'énergie. La différence est l'énergie Q libérée par la fission d'un noyau d'uranium. Soient E_1 et E_2 , respectivement, les énergies de liaison par nucléon des noyaux de lanthane et de brome :

$$Q = (144.E_1) + (88.E_2) - (235.E_0)$$

b) Application numérique :

$$Q = (144 \times 8,28) + (88 \times 8,56) - (235 \times 7,540) = 174 \text{ MeV}$$

5 a) La perte de masse est, en moyenne, de 0,200 u par noyau.

L'énergie libérée par un noyau est :

$$Q' = 0,200 \times 1,66055 \cdot 10^{-27} \times (2,998 \cdot 10^8)^2 / 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ soit : } Q' = 186 \text{ MeV}$$

Ce résultat est proche du résultat de la question 4, qui est un cas parmi d'autres des fissions possibles du noyau d'uranium.

b) L'énergie libérée par une mole de noyaux ${}^{235}_{92}\text{U}$ est : $E_{\text{mole}} = Q' \cdot N_A$

$$\text{soit : } E_{\text{mole}} = 186 \cdot 10^6 \times 1,602 \cdot 10^{-19} \times 6,02 \cdot 10^{23} = 1,80 \times 10^{13} \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

6. a) Si une centrale nucléaire fournit une puissance électrique moyenne $P_e = 1000 \text{ MW}$ avec un rendement $r = P_e / P_n$, sa puissance nucléaire est $P_n = P_e / r$

$$\text{soit : } P_n = 1000 \times 4 = 4000 \text{ MW}$$

b) L'énergie nucléaire consommée chaque année est :

$$E_{\text{an}} = P_n \cdot \Delta t \text{ avec } \Delta t = 1 \text{ an} = (365 \times 86400) \text{ s}$$

$$\text{soit : } E_{\text{an}} = 4000 \cdot 10^6 \times 365 \times 86400 = 1,26 \times 10^{17} \text{ J}$$

c) La quantité n d'uranium consommée chaque année s'exprime par : $n = \frac{E_{\text{an}}}{E_{\text{mol}}}$

$$\text{et donc la masse d'uranium consommée annuellement est : } m = \frac{E_{\text{an}}}{E_{\text{mol}}} \cdot m({}^{235}\text{U}) \cdot N_A$$

$$m = (1,26 \times 10^{17} / 1,80 \times 10^{13}) \times 235,0134 \times 1,66055 \times 10^{-27} \times 6,02 \times 10^{23}$$

$$\text{soit : } m = 1,65 \times 10^3 \text{ kg ou } 1,65 \text{ t}$$