

## Exercices P6 : Physique nucléaire

### 1 Radioactivité

Compléter les équations suivantes et préciser le type de désintégration ( $\alpha$ ,  $\beta^+$  ou  $\beta^-$ ). S'aider d'un tableau périodique pour trouver le symbole chimique des éléments manquants.

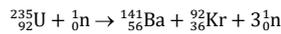
- ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^4_2\text{He} + \dots$
- ${}^{107}_{46}\text{Pd} \rightarrow {}^{107}_{47}\text{Ag} + \dots$
- ${}^{207}_{83}\text{Bi} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + \dots$
- ${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + \dots$

### 2 Énergie et fission

Données :

$1 \text{ u} = 1,660538 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$	$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
masse ( ${}^{235}_{92}\text{U}$ ) = 234,9944 u	masse ( ${}_0^1\text{n}$ ) = 1,0087 u
masse ( ${}^{141}_{56}\text{Ba}$ ) = 140,8840 u	masse ( ${}^{92}_{36}\text{Kr}$ ) = 91,9065 u

L'uranium 235 est le « combustible » nucléaire utilisé dans les centrales. Lorsque le noyau d'uranium 235 est percuté par un neutron, il peut se diviser en deux noyaux plus légers selon la réaction suivante :



- Calculer la variation de masse  $\Delta m$  de cette réaction, en unité de masse atomique (u).
- En déduire l'énergie libérée par cette réaction, en joule.
- Calculer la valeur de l'énergie dégagée par la fission de 100 g d'uranium enrichi à 5 %\* et la comparer à celle dégagée par la combustion d'une tonne de charbon (Énergie de combustion du carbone : 20 MJ·kg<sup>-1</sup>).

\* L'uranium enrichi contient plus de  ${}^{235}\text{U}$  que l'uranium naturel (0,72 % de  ${}^{235}\text{U}$  dans l'uranium naturel).

### 3 Fission et fusion (2016)

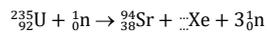
Données :

- Attraction gravitationnelle :  $F_{A/B} = F_{B/A} = \frac{G \cdot m_A \cdot m_B}{d^2}$   
avec  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ S.I}$
- Interaction électromagnétique :  $F_{A/B} = F_{B/A} = \frac{k \cdot q_A \cdot q_B}{d^2}$   
avec  $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ S.I}$ .
- Masse du proton :  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- Charge du proton :  $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

La fission nucléaire consiste à bombarder certains noyaux lourds, notamment l'uranium  ${}^{235}\text{U}$  avec un neutron, afin de provoquer une cassure de ce noyau. Ce procédé dégage beaucoup d'énergie.

La fusion nucléaire consiste à fusionner deux noyaux légers pour créer un noyau plus lourd. Ce procédé dégage beaucoup d'énergie lors de la fusion de noyaux légers, comme l'hydrogène. Néanmoins, il est beaucoup plus difficile à contrôler que la fission, car il faut que ces noyaux soient très proches afin qu'ils s'associent sous l'effet de l'interaction nucléaire forte, dont la portée est très courte.

- Compléter l'équation de fission suivante :



- Quelles sont les interactions qui s'exercent entre deux noyaux de  ${}^1_1\text{H}$  avant leur fusion ? Sont-elles attractives ou répulsives ?
- 3.1. En considérant deux noyaux de  ${}^1_1\text{H}$  distants de  $10^{-10} \text{ m}$ , montrer que l'interaction gravitationnelle est négligeable devant l'interaction électromagnétique.
- 3.2. Comment peut-on faire pour forcer deux noyaux d'hydrogène à fusionner, malgré l'interaction électromagnétique ?
4. Pourquoi peut-on négliger les interactions entre un neutron et un noyau d'uranium, lors de la fission nucléaire ?

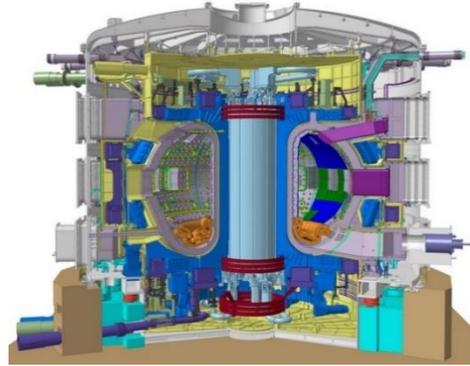
### 4 Vers la maîtrise de la fusion (2016)

Document : Le projet ITER

Le projet ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) dans le département des Bouches-du-Rhône consiste à bâtir l'installation expérimentale la plus puissante au monde pour produire sur Terre une réaction qui se déroule au cœur des étoiles : la fusion nucléaire.

La réaction  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$  permet de libérer une grande quantité d'énergie en toute sécurité et avec très peu de « combustible ».

Théoriquement, la fusion d'un kilogramme de deutérium et de tritium par jour engendrerait l'énergie thermique nécessaire à la production d'environ  $10^{14} \text{ J}$  d'énergie électrique en continue en un jour.



Ce tokamak abritera les expériences

Données :

- $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- L'énergie de combustion complète du carbone vaut 240 kJ·mol<sup>-1</sup>.

• Masses de quelques noyaux

Noyau ou particule	Masse (kg)
Deutérium ${}^2_1\text{H}$	$3,34358 \cdot 10^{-27}$
Tritium ${}^3_1\text{H}$	$5,00736 \cdot 10^{-27}$
Hélium ${}^4_2\text{He}$	$6,64466 \cdot 10^{-27}$
Neutron ${}_0^1\text{n}$	$1,67493 \cdot 10^{-27}$

• Masses molaires

Atome	Masse molaire (g·mol <sup>-1</sup> )
${}^2_1\text{H}$	2,0
${}^3_1\text{H}$	3,0
${}^4_2\text{He}$	4,0
${}^{12}_6\text{C}$	12,0

Questions

- Que signifie la notation  ${}^3_1\text{H}$  ?
- Calculer l'énergie libérée par la fusion d'un noyau de tritium et d'un noyau de deutérium  
On considère 1 kg de « combustible » (deutérium + tritium) contenant autant d'atomes de deutérium que de tritium.
- 3.1. Déterminer l'énergie qui serait libérée par la fusion de cet ensemble de noyaux.
- 3.2. En déduire la masse de charbon, assimilé à du carbone pur, dont la combustion complète fournirait la même énergie.
4. Une centrale électrique fonctionnant avec ce « combustible » aurait un rendement de 30 % au maximum : sur 100 J libérés par fusion, 30 J seraient convertis en énergie électrique. Dans ces conditions, discuter de l'affirmation de la fin du document 2.
5. Pourquoi dit-on que l'énergie nucléaire est de l'énergie concentrée ?

## Correction

### Ex.1

- ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{90}^{234}\text{Th} (\alpha)$
- ${}_{46}^{107}\text{Pd} \rightarrow {}_{47}^{107}\text{Ag} + {}_{-1}^0\text{e}^-$
- ${}_{83}^{207}\text{Bi} \rightarrow {}_1^0\text{e}^+ + {}_{82}^{207}\text{Pb} (\beta^+)$
- ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + {}_2^4\text{He} (\alpha)$

### Ex.2

$$1. \Delta m = \text{masse} ({}_{56}^{141}\text{Ba}) + \text{masse} ({}_{36}^{92}\text{Kr}) + 3 \times \text{masse} ({}_0^1\text{n}) - (\text{masse} ({}_{92}^{235}\text{U}) + \text{masse} ({}_0^1\text{n})) = -0,1865 \text{ u}$$

$$2. \Delta m = -3,10 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \rightarrow E = |\Delta m| \cdot c^2 = 2,783 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

3. 100 g d'uranium enrichi à 5 % contiennent 5 g de  ${}^{235}\text{U}$ .

Nombre de noyaux de  ${}^{235}\text{U}$  contenu dans 5 g de  ${}^{235}\text{U}$  :

$$N = 5 \cdot 10^{-3} / (239,9944 \times 1,660538 \cdot 10^{-27}) = 1,28 \cdot 10^{22} \text{ atomes}$$

Énergie produite par la fission de ces  $N$  noyaux :

$$E = 2,783 \cdot 10^{-11} \times 1,28 \cdot 10^{22} = 3,57 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

Une tonne de charbon produit  $20 \cdot 10^6 \times 10^3 = 2 \cdot 10^{10} \text{ J}$

L'énergie produite par la fission de ces 5 g de  ${}^{235}\text{U}$  est environ 18 fois plus grande ! 100 g d'uranium enrichi à 5 % sont capables de produire l'énergie dégagée par environ 18 tonnes de charbon !

### Ex.3

$$1. {}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{38}^{94}\text{Sr} + {}_{54}^{139}\text{Xe} + 3{}_0^1\text{n}$$

2. Interactions électromagnétique (répulsive) et gravitationnelle (attractive).

$$3.1. \text{Interaction électromagnétique} : F_e = \frac{k \cdot e^2}{d^2} = 2,30 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

$$\text{Interaction gravitationnelle} : F_g = \frac{G \cdot m_p^2}{d^2} = 1,86 \cdot 10^{-44} \text{ N}$$

Dans cette situation, l'interaction électromagnétique est  $10^{36}$  fois plus grande que l'interaction gravitationnelle. Cette dernière est donc complètement négligeable.

3.2. Il faut les lancer l'un vers l'autre à très grande vitesse, en les chauffant très fortement.

4. Le neutron étant neutre, il n'y a aucune interaction électromagnétique entre le noyau d'uranium et lui. L'interaction gravitationnelle est toute petite et peut donc être négligée.

### Ex.4

1. H est le symbole de l'élément chimique. 3 = nbre de nucléons et 1 = nbre de protons.

$$2. E = |\Delta m| \cdot c^2 = 3,135 \cdot 10^{-29} \times (3,00 \cdot 10^8)^2 = 2,822 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

3.1. Calcul de la quantité de matière  $n$  de  ${}^2_1\text{H}$  et de  ${}^3_1\text{H}$  contenue dans 1 kg de mélange :  $n \times 2 + n \times 3 = 1000$  donc  $n = 200 \text{ mol}$ .

On a donc  $200 \times 6,02 \cdot 10^{23} = 1,20 \cdot 10^{26}$  noyaux de deutérium et le même nombre de noyaux de tritium.

$$\text{Énergie dégagée} : E' = 1,20 \cdot 10^{26} \times 2,822 \cdot 10^{-12} = 3,40 \cdot 10^{14} \text{ J.}$$

3.2. La combustion d'1 mol de carbone dégage 240 kJ.

Quantité de matière de charbon dégageant  $4,25 \cdot 10^{14} \text{ J}$  :

$$n = 4,25 \cdot 10^{14} / 240 \cdot 10^3 = 1,77 \cdot 10^9 \text{ mol}$$

$$\text{soit } m = 1,77 \cdot 10^9 \times 12 = 2,12 \cdot 10^{10} \text{ g ou } 2,12 \cdot 10^7 \text{ kg}$$

4. À partir de cette énergie, la centrale pourrait produire une énergie électrique  $E_{\text{élec}} = 0,30 \times 3,40 \cdot 10^{14} = 1,0 \cdot 10^{14} \text{ J}$ .

Ce résultat est compatible avec la donnée du doc 2.

5. Elle est concentrée car 1 kg de « combustible » nucléaire produit autant d'énergie que la combustion de 21 000 t de charbon environ.