

Exercices P6 : Physique nucléaire

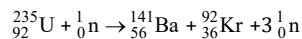
1 Radioactivité

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



2 Énergie et fission

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 :



1. Grâce aux données en fin d'exercices, calculer la variation de masse Δm de cette réaction, en unité de masse atomique (u).

2. En déduire l'énergie libérée par cette réaction, en joule.

3. 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 (20 MJ·kg⁻¹).

* L'uranium enrichi contient plus de ²³⁵U que l'uranium naturel (0,72 % de ²³⁵U).

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 (${}^1_0\text{n}$) = 1,0087 u
masse (${}^{141}_{56}\text{Ba}$) = 140,8840 u	masse (${}^{92}_{36}\text{Kr}$) = 91,9065 u

3 Perte de masse du Soleil

Le soleil rayonne une puissance de $3,85 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

On rappelle la relation qui lie puissance échangée P pendant une durée Δt et énergie échangée E : $E = P \cdot \Delta t$.

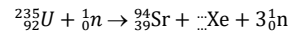
Calculer la masse perdue par le Soleil à chaque seconde.

4 Fission et fusion (devoir 2016)

La fission nucléaire consiste à bombarder certains noyaux lourds, notamment l'uranium ²³⁵U 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.

1. Compléter l'équation de fission suivante :



2. 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} m , montrer que l'interaction gravitationnelle est négligeable devant l'interaction électromagnétique.

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 : $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

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 ?

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

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

$$2. \Delta m = -3,10 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

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

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

Calcul de l'énergie rayonnée par le Soleil à chaque seconde : $E = P \cdot \Delta t$
 $= 3,85 \cdot 10^{26} \times 1 = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ J}$

Masse perdue par le Soleil à chaque seconde : $m = E / c^2 = 4,28 \cdot 10^9 \text{ kg}$
 Le Soleil convertit, chaque seconde, environ 4 millions de tonnes de matière en énergie pure !

Ex.4

$$1. {}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{39}^{94}\text{Sr} + {}_{54}^{139}\text{Xe} + 3{}_0^1\text{n}$$

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 en 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.