Le plutonium

Bac S 2009 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Sachant que $Z = 94$ pour le plutonium, donner la composition des noyaux de plutonium 238 et 239.

Un noyau ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ contient Z protons et $A - Z$ neutrons.

Plutonium 238 : 94 protons et $238 - 94 = 144$ neutrons.

Plutonium 239 : 94 protons et $239 - 94 = 145$ neutrons.

${}^{238}_{94}\mathrm{Pu}$: 94 protons, 144 neutrons ; ${}^{239}_{94}\mathrm{Pu}$: 94 protons, 145 neutrons.

PIÈGE
Le nombre 238 ou 239 est le nombre de nucléons A, pas le nombre de neutrons. On ne parle pas d'électrons : la question porte sur le noyau.

1.2 Définir l'isotopie.

Des noyaux isotopes ont le même nombre de protons Z (même élément chimique) mais des nombres de neutrons différents, donc des nombres de nucléons A différents.

COMPRENDRE
Les plutoniums 238, 239 et 241 de la carte d'identité ont tous 94 protons : seul le nombre de neutrons change (144, 145, 147).

1.3 Quelle est la nature d'une « particule alpha » ?

Une particule alpha est un noyau d'hélium 4, noté ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$: 2 protons et 2 neutrons.

PIÈGE
Répondre « un atome d'hélium » : la particule α est un noyau, sans électrons, donc chargé positivement.

1.4 En précisant les lois de conservation utilisées, écrire l'équation de la désintégration du plutonium 238 quand le noyau fils est émis dans un état excité.

Données utiles ${}_{92}\mathrm{U}$; ${}_{93}\mathrm{Np}$; ${}_{94}\mathrm{Pu}$; ${}_{95}\mathrm{Am}$; ${}_{96}\mathrm{Cm}$

D'après la carte d'identité, le plutonium 238 est émetteur alpha : ${}^{238}_{94}\mathrm{Pu} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{A}_{Z}\mathrm{Y}^{*}$

Conservation du nombre de nucléons : $238 = 4 + A$, donc $A = 234$.

Conservation du nombre de charge : $94 = 2 + Z$, donc $Z = 92$: le noyau fils est un noyau d'uranium.

${}^{238}_{94}\mathrm{Pu} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{234}_{92}\mathrm{U}^{*}$

PIÈGE
Oublier l'astérisque : il indique que le noyau fils est excité, ce que demande explicitement l'énoncé.

MÉTHODE
Désintégration : écrire le noyau père à gauche, la particule émise et un noyau fils inconnu à droite, appliquer les deux lois de conservation (lois de Soddy), puis lire le symbole du noyau fils dans la classification.

1.5 Pourquoi y a-t-il émission d'un rayonnement gamma ?

Le noyau fils est formé dans un état excité : il possède un excès d'énergie. Il revient à son état fondamental en cédant cette énergie sous forme d'un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d'onde : ${}^{234}_{92}\mathrm{U}^{*} \longrightarrow {}^{234}_{92}\mathrm{U} + \gamma$

Le rayonnement γ accompagne la désexcitation du noyau fils d'uranium 234.

COMPRENDRE
La désexcitation ne modifie ni A ni Z : le photon γ n'a ni nucléon ni charge, le noyau reste de l'uranium 234.

1.6 De quelle réaction parle-t-on dans le commentaire de la carte d'identité ? La définir.

« Matières fissiles » : les noyaux de plutonium 239 et 241 peuvent subir une fission.

La fission est une réaction nucléaire provoquée : un noyau lourd, percuté par un neutron, se partage en deux noyaux plus légers, en émettant des neutrons et en libérant de l'énergie.

PIÈGE
Confondre fission (un noyau lourd se casse) et fusion (deux noyaux légers s'assemblent), ou la présenter comme spontanée : ici elle est déclenchée par un neutron.

2.1 Donner l'expression de la perte de masse du système au cours de la réaction (1). Calculer sa valeur en kilogramme.

Données utiles $m(^{239}\text{Pu}) = 239{,}0530$ u ; $m(^{135}\text{Te}) = 134{,}9167$ u ; $m(^{102}\text{Mo}) = 101{,}9103$ u ; $m(\text{n}) = 1{,}0089$ u ; $1\text{ u} = 1{,}66043 \times 10^{-27}$ kg

Perte de masse = masse des réactifs − masse des produits :

$$|\Delta m| = [m(\text{Pu}) + m(\text{n})] - [m(\text{Te}) + m(\text{Mo}) + 3\,m(\text{n})]$$

soit, un neutron se simplifiant de chaque côté :

$$|\Delta m| = m(\text{Pu}) - m(\text{Te}) - m(\text{Mo}) - 2\,m(\text{n})$$

$$|\Delta m| = 239{,}0530 - 134{,}9167 - 101{,}9103 - 2 \times 1{,}0089 = 0{,}2082\text{ u}$$

$$|\Delta m| = 0{,}2082 \times 1{,}66043 \times 10^{-27}$$

$$\boxed{|\Delta m| = 3{,}457 \times 10^{-28}\text{ kg}}$$

PIÈGE
Compter trois neutrons à droite et oublier celui de gauche : il ne reste que deux neutrons dans le bilan. Ne pas arrondir les masses avant de soustraire.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : la soustraction ne conserve que quatre chiffres (0,2082 u), le résultat en kilogramme en garde donc quatre. La variation de masse $\Delta m = m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}$ est négative ; la « perte » en est la valeur absolue.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

239.0530 − 134.9167 − 101.9103 − 2 × 1.0089
≈ 0.2082

0.2082 × 1.66043 × 10^{-27}
≈ 3.457015 × 10^{-28}

2.2 Donner l'expression de l'énergie libérée par l'action d'un neutron sur un noyau de plutonium. Calculer sa valeur en MeV.

Données utiles $|\Delta m| = 0{,}2082\text{ u} = 3{,}457 \times 10^{-28}$ kg (2.1) ; $c = 2{,}9979 \times 10^{8}\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $1\text{ MeV} = 1{,}6022 \times 10^{-13}$ J

Relation d'équivalence masse-énergie : $E_{\text{lib}} = |\Delta m| \times c^2$, avec $|\Delta m|$ en kg et E_{lib} en J.

$$E_{\text{lib}} = 3{,}457 \times 10^{-28} \times (2{,}9979 \times 10^{8})^2 = 3{,}107 \times 10^{-11}\text{ J}$$

$$E_{\text{lib}} = \frac{3{,}107 \times 10^{-11}}{1{,}6022 \times 10^{-13}}$$

$$\boxed{E_{\text{lib}} = 193{,}9\text{ MeV}}$$

PIÈGE
Oublier le carré de c, ou convertir en MeV en multipliant : on divise l'énergie en joule par $1{,}6022 \times 10^{-13}$.

COMPRENDRE
L'énergie libérée est comptée positivement : c'est celle que reçoit le milieu extérieur. La variation d'énergie du système, $\Delta m \times c^2$, vaut $-193{,}9$ MeV.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

0.2082 × 1.66043 × 10^{-27} × $(2.9979 \times 10^{8})^2$
≈ 3.106959 × 10^{-11}

$\frac{0.2082 \times 1.66043 \times 10^{-27} \times (2.9979 \times 10^{8})^2}{1.6022 \times 10^{-13}}$
≈ 193.9183

3.1 À partir des énergies de liaison des trois noyaux, donner l'expression de l'énergie libérée lors de la réaction (1). La calculer et comparer à la valeur trouvée en 2.2.

Données utiles $E_\ell(^{239}\text{Pu}) = 1{,}79 \times 10^3$ MeV ; $E_\ell(^{135}\text{Te}) = 1{,}12 \times 10^3$ MeV ; $E_\ell(^{102}\text{Mo}) = 8{,}64 \times 10^2$ MeV ; $E_{\text{lib}} = 193{,}9$ MeV (2.2)

Les neutrons libres n'ont pas d'énergie de liaison. L'énergie libérée est la différence entre les énergies de liaison des produits et celle du réactif :

$$E_{\text{lib}} = E_\ell(\text{Te}) + E_\ell(\text{Mo}) - E_\ell(\text{Pu})$$

$$E_{\text{lib}} = 1{,}12 \times 10^3 + 8{,}64 \times 10^2 - 1{,}79 \times 10^3$$

$E_{\text{lib}} = 194$ MeV : valeur en accord avec celle de 2.2 (193,9 MeV).

PIÈGE
Inverser l'ordre : avec les masses on écrit réactifs − produits, avec les énergies de liaison c'est produits − réactifs, car un noyau plus lié est un noyau plus léger.

COMPRENDRE
Les énergies de liaison ne sont données qu'à la dizaine de MeV près : l'accord avec 2.2 est aussi bon que les données le permettent.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$1.12 \times 10^3 + 8.64 \times 10^2 - 1.79 \times 10^3$
$\approx$ 194

3.2 Calculer l'énergie de liaison par nucléon de chacun des noyaux. Comparer la stabilité de ces trois noyaux.

Données utiles $E_\ell(^{239}\text{Pu}) = 1{,}79 \times 10^3$ MeV ; $E_\ell(^{135}\text{Te}) = 1{,}12 \times 10^3$ MeV ; $E_\ell(^{102}\text{Mo}) = 8{,}64 \times 10^2$ MeV

Énergie de liaison par nucléon : $\dfrac{E_\ell}{A}$.

^{239}Pu : $\dfrac{1{,}79 \times 10^3}{239} = 7{,}49$ MeV par nucléon

^{135}Te : $\dfrac{1{,}12 \times 10^3}{135} = 8{,}30$ MeV par nucléon

^{102}Mo : $\dfrac{8{,}64 \times 10^2}{102} = 8{,}47$ MeV par nucléon

Un noyau est d'autant plus stable que son énergie de liaison par nucléon est grande.

$7{,}49 < 8{,}30 < 8{,}47$ MeV par nucléon : le plutonium 239 est le moins stable, le molybdène 102 le plus stable ; les deux noyaux formés sont plus stables que le plutonium.

PIÈGE
Comparer directement les énergies de liaison : le plutonium a la plus grande ($1{,}79 \times 10^3$ MeV) et il est pourtant le moins stable. Seule la valeur par nucléon permet de comparer.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$\dfrac{1.79 \times 10^3}{239}$ $\approx$ 7.48954
$\dfrac{1.12 \times 10^3}{135}$ $\approx$ 8.296296
$\dfrac{8.64 \times 10^2}{102}$ $\approx$ 8.470588

3.3 À l'aide de ces résultats, donner et justifier le bilan énergétique de la réaction (1).

Données utiles $E_{\text{lib}} = 194$ MeV (3.1) ; énergies de liaison par nucléon (3.2)

Les nucléons sont plus fortement liés dans le tellure 135 et le molybdène 102 ($8{,}30$ et $8{,}47$ MeV par nucléon) que dans le plutonium 239 ($7{,}49$ MeV par nucléon). En passant d'un noyau peu stable à deux noyaux plus stables, le système perd de la masse, donc de l'énergie.

La réaction (1) libère de l'énergie : le système cède environ 194 MeV au milieu extérieur par noyau de plutonium 239 fissionné.

COMPRENDRE
Cette énergie est emportée surtout sous forme d'énergie cinétique par les noyaux formés et les neutrons. Les trois neutrons émis peuvent provoquer d'autres fissions : c'est le principe de la réaction en chaîne.