Radioactivité dans la famille de l'uranium

Bac S 2003 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 4 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Quel est le type de radioactivité correspondant à la désintégration du radium 226 en radon 222 ? Justifier.

Le noyau de radium émet un noyau d'hélium $^{4}_{2}\mathrm{He}$, appelé particule α.

Il s'agit d'une radioactivité α.

COMPRENDRE
Le noyau fils perd 4 nucléons dont 2 protons : A passe de 226 à 222 et Z de 88 à 86. C'est la signature d'une émission α.

1.2 Donner l'expression littérale du défaut de masse Δm d'un noyau $^{A}_{Z}\mathrm{X}$ de masse m_X, puis calculer en u celui du noyau de radium.

Données utiles $m_p = 1{,}007$ u ; $m_n = 1{,}009$ u ; $m_{\mathrm{Ra}} = 225{,}977$ u ; radium : $Z = 88$, $A = 226$

Le défaut de masse est l'écart entre la masse des nucléons séparés et la masse du noyau :

$$\Delta m = Z\,m_p + (A - Z)\,m_n - m_X$$

Le noyau de radium contient 88 protons et $226 - 88 = 138$ neutrons :

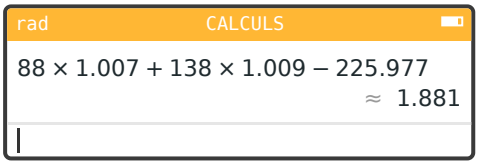
$$\Delta m(\mathrm{Ra}) = 88 \times 1{,}007 + 138 \times 1{,}009 - 225{,}977 = 227{,}858 - 225{,}977$$

$$\Delta m(\mathrm{Ra}) = 1{,}881 \text{ u}$$

PIÈGE
Multiplier m_n par A au lieu de $A - Z$, ou écrire la différence dans l'autre sens : avec cette définition, le défaut de masse est positif.

COMPRENDRE
Les masses sont données au millième d'unité : la somme et la différence se gardent au millième, d'où 1,881 u.

À LA CALCULATRICE



1.3 Écrire la relation d'équivalence masse-énergie.

Toute particule de masse m, au repos, possède une énergie de masse E.

$E = m\,c^2$, avec E en joule, m en kilogramme et c en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

1.4 Définir l'énergie de liaison E_l d'un noyau. Calculer celle du radon en joule, vérifier qu'elle vaut $1{,}71 \times 10^3$ MeV, puis en déduire l'énergie de liaison par nucléon.

Données utiles $\Delta m(\mathrm{Rn}) = 3{,}04 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; 1 MeV $= 1{,}60 \times 10^{-13}$ J ; radon : $A = 222$

L'énergie de liaison est l'énergie qu'il faut apporter à un noyau au repos pour le dissocier en ses nucléons, isolés et immobiles.

$$E_l(\mathrm{Rn}) = \Delta m(\mathrm{Rn}) \times c^2 = 3{,}04 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^{8})^2 = 2{,}74 \times 10^{-10} \text{ J}$$

En MeV : $E_l(\mathrm{Rn}) = \dfrac{2{,}736 \times 10^{-10}}{1{,}60 \times 10^{-13}} = 1{,}71 \times 10^{3}$ MeV, ce qui est la valeur annoncée.

Par nucléon : $\dfrac{E_l}{A} = \dfrac{1{,}71 \times 10^{3}}{222}$

$$\frac{E_l}{A}(\mathrm{Rn}) = 7{,}70 \text{ MeV} \cdot \text{nucléon}^{-1}$$

PIÈGE
Le défaut de masse est ici donné en kilogramme : on applique directement $\Delta m\,c^2$, sans le multiplier par la valeur de u. Oublier le carré de c est l'autre erreur fréquente.

MÉTHODE
Pour passer du joule au MeV, on divise par $1{,}60 \times 10^{-13}$, car 1 MeV $= 10^{6} \times 1{,}60 \times 10^{-19}$ J. On reprend la valeur non arrondie $2{,}736 \times 10^{-10}$ J pour ce calcul.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$3.04 \times 10^{-27} \times (3.00 \times 10^{8})^{2}$
$\approx 2.736 \times 10^{-10}$

$\dfrac{2.736 \times 10^{-10}}{1.60 \times 10^{-13}}$
≈ 1710

$\dfrac{1710}{222}$
≈ 7.702703

1.5 Établir littéralement la variation d'énergie ΔE de la désintégration du radium en fonction de m_{Ra}, m_{Rn} et m_{He}, puis l'exprimer en joule.

Données utiles $m_{\text{Ra}} = 225{,}977$ u ; $m_{\text{Rn}} = 221{,}970$ u ; $m_{\text{He}} = 4{,}001$ u ; $1\text{ u} = 1{,}660\,54 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

La variation d'énergie est le produit de la variation de masse (produits moins réactif) par c^2 :

$$\Delta E = (m_{\text{Rn}} + m_{\text{He}} - m_{\text{Ra}})\,c^2$$

$$\Delta E = (221{,}970 + 4{,}001 - 225{,}977) \times 1{,}660\,54 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^{8})^2$$

La masse diminue de $0{,}006$ u : ΔE est négative, le système cède de l'énergie à l'extérieur.

$\Delta E = -8{,}97 \times 10^{-13}$ J, soit environ -9×10^{-13} J

PIÈGE
Les masses sont en u : il faut les convertir en kilogramme avant de multiplier par c^2, sinon le résultat n'est pas en joule.

COMPRENDRE
La variation de masse, $-0{,}006$ u, n'est connue qu'avec un seul chiffre significatif : le résultat vaut en réalité -9×10^{-13} J, soit une énergie libérée d'environ $5{,}6$ MeV.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$(221.970 + 4.001 - 225.977) \times 1.66054 \times 10^{-27} \times (3.00 \times 10^{8})^{2}$
$\approx -8.966916 \times 10^{-13}$

$(221.970 + 4.001 - 225.977) \times 931.5$
≈ -5.589

2.1 Définir le terme « isotope ».

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

COMPRENDRE
$^{238}_{92}\text{U}$ et $^{235}_{92}\text{U}$ ont tous deux 92 protons : c'est le même élément. Ils comptent respectivement 146 et 143 neutrons.

2.2 Définir la fission. Écrire la réaction de fission d'un noyau d'uranium 235 bombardé par un neutron et donnant Zr et Te. À l'aide de la courbe d'Aston, dégager l'intérêt énergétique de cette réaction.

Données utiles ${}^{99}_{40}\mathrm{Zr}$; ${}^{134}_{52}\mathrm{Te}$; courbe d'Aston de l'annexe

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

Conservation du nombre de nucléons : $235 + 1 = 99 + 134 + x$, donc $x = 3$ neutrons émis. Conservation de la charge : $92 = 40 + 52$.

$$ {}^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{99}_{40}\mathrm{Zr} + {}^{134}_{52}\mathrm{Te} + 3\,{}^{1}_{0}\mathrm{n} $$

Sur la courbe d'Aston, on lit $\dfrac{E_l}{A} \approx 7{,}3$ MeV par nucléon pour U, $8{,}7$ pour Zr et $8{,}5$ pour Te. Les noyaux formés sont plus bas sur la courbe : leurs nucléons sont plus liés, ils sont plus stables que l'uranium.

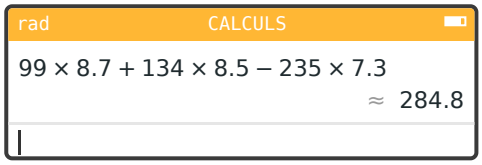
Énergie libérée : $99 \times 8{,}7 + 134 \times 8{,}5 - 235 \times 7{,}3 \approx 2{,}8 \times 10^2$ MeV.

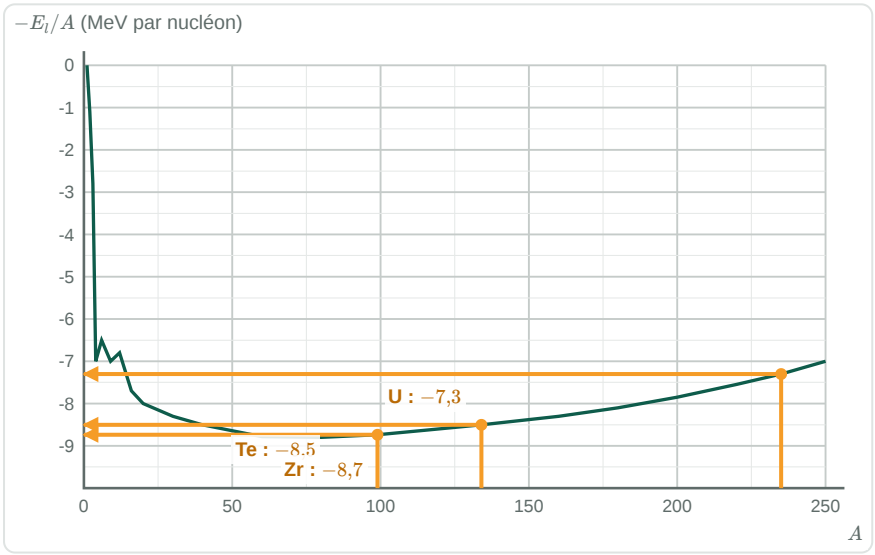
La fission d'un seul noyau d'uranium 235 libère une énergie de l'ordre de 3×10^2 MeV.

PIÈGE
L'axe vertical porte $-E_l/A$: le noyau le plus stable est le plus bas. Dans l'équation, ne pas oublier le neutron incident dans le décompte des nucléons.

COMPRENDRE
Cette énergie est environ cinquante fois plus grande que celle de la désintégration α du radium (question 1.5). Les trois neutrons émis peuvent provoquer d'autres fissions : c'est la réaction en chaîne.

À LA CALCULATRICE





2.2 · Annexe complétée : lecture de $-E_l/A$ pour U, Te et Zr sur la courbe d'Aston

3.1 Donner la définition de la radioactivité β^-.

La radioactivité β^- est la désintégration spontanée d'un noyau instable, qui se transforme en un noyau fils en émettant un électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$.

COMPRENDRE
Dans le noyau, un neutron se transforme en proton : A ne change pas et Z augmente d'une unité. Elle concerne les noyaux trop riches en neutrons.

3.2 Écrire l'équation de désintégration du noyau de zirconium 99.

Données utiles ${}^{99}_{40}\mathrm{Zr}$; noyau fils : niobium Nb ; désintégration β^-

Conservation du nombre de nucléons : $99 = A + 0$, donc $A = 99$.
Conservation de la charge : $40 = Z - 1$, donc $Z = 41$.

$$ {}^{99}_{40}\mathrm{Zr} \longrightarrow {}^{99}_{41}\mathrm{Nb} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} $$

PIÈGE
Écrire $Z = 39$ pour le niobium : l'électron porte la charge -1, donc le numéro atomique du noyau fils augmente.

COMPRENDRE
Un antineutrino est aussi émis lors d'une désintégration β^-. Sans charge ni nucléon, il ne modifie pas les lois de conservation utilisées ici.