Le polonium 210

Bac S 2010 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 1 **6 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1 Indiquer la composition d'un noyau de polonium 210, $^{210}_{84}\mathrm{Po}$.

Le numéro atomique est $Z = 84$: le noyau contient 84 protons.

Le nombre de nucléons est $A = 210$: le nombre de neutrons est $A - Z = 210 - 84 = 126$.

Le noyau $^{210}_{84}\mathrm{Po}$ est formé de **84 protons** et **126 neutrons**.

PIÈGE
Répondre « 210 neutrons » : le nombre du haut compte tous les nucléons, protons compris. Ne pas citer d'électrons non plus, la question porte sur le noyau et non sur l'atome.

2 Écrire l'équation de désintégration d'un noyau $^{210}_{84}\mathrm{Po}$ en précisant les lois de conservation utilisées (noyau fils à l'état fondamental).

Données utiles le polonium 210 est émetteur alpha ; $_{81}\mathrm{Tl}$; $_{82}\mathrm{Pb}$; $_{83}\mathrm{Bi}$; $_{85}\mathrm{At}$; $_{86}\mathrm{Rn}$

La particule alpha est un noyau d'hélium $^{4}_{2}\mathrm{He}$. On note $^{A}_{Z}\mathrm{X}$ le noyau fils : $^{210}_{84}\mathrm{Po} \longrightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$.

Conservation du nombre de nucléons : $210 = A + 4$, donc $A = 206$.

Conservation du nombre de charge : $84 = Z + 2$, donc $Z = 82$.

L'élément de numéro atomique 82 est le plomb.

$$^{210}_{84}\mathrm{Po} \longrightarrow {}^{206}_{82}\mathrm{Pb} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

COMPRENDRE
Le noyau fils étant dans son état fondamental, il ne se désexcite pas : aucun photon gamma n'accompagne la désintégration et il n'y a rien à ajouter à l'équation.

MÉTHODE
Pour toute équation nucléaire : écrire le noyau inconnu $^{A}_{Z}\mathrm{X}$, appliquer les deux lois de conservation (lois de Soddy), puis identifier l'élément grâce à Z dans la liste fournie.

3 Définir la notion de noyaux isotopes.

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

COMPRENDRE
Exemple : le polonium 208 et le polonium 210 ont tous deux 84 protons, mais 124 et 126 neutrons.

4 Définir le temps de demi-vie $t_{1/2}$ d'un noyau radioactif.

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la **moitié des noyaux radioactifs** initialement présents dans un échantillon s'est désintégrée : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$.

PIÈGE
Écrire qu'au bout de deux demi-vies tous les noyaux ont disparu. Il en reste un quart : la population est divisée par deux à chaque demi-vie.

5.1 Énoncer la loi de décroissance radioactive, en précisant la signification de chacun des termes.

$$N(t) = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$$

- $N(t)$: nombre de noyaux radioactifs encore présents dans l'échantillon à la date t ;
- N_0 : nombre de noyaux radioactifs présents à la date $t = 0$;
- λ : constante radioactive du noyau, en s^{-1} si t est en secondes.

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » dans l'exponentielle, ou ne pas préciser que N compte les noyaux restants et non les noyaux désintégrés.

5.2 Sachant que $A(t) = -\dfrac{\mathrm{d}N(t)}{\mathrm{d}t}$, montrer que l'activité $A(t)$ d'une source est proportionnelle au nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs présents.

Données utiles $N(t) = N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$ (Q5.1)

On dérive la loi de décroissance par rapport au temps :

$$\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = N_0 \times (-\lambda)\,\mathrm{e}^{-\lambda t} = -\lambda\,N_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t} = -\lambda\,N(t)$$

Donc $A(t) = -\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = \lambda\,N(t)$.

$A(t) = \lambda\,N(t)$ avec λ constante : l'activité est proportionnelle à $N(t)$.

COMPRENDRE
N diminue, sa dérivée est négative : le signe « $-$ » de la définition rend l'activité positive. Elle s'exprime en becquerels, 1 Bq valant une désintégration par seconde.

5.3 Écrire la relation entre la constante radioactive et le temps de demi-vie, puis calculer la constante radioactive du polonium 210 en s^{-1}.

Données utiles $t_{1/2} = 138$ jours

Relation : $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$

Conversion : $t_{1/2} = 138 \times 24 \times 3600 = 1{,}19 \times 10^7$ s.

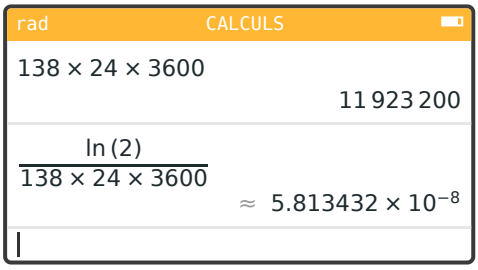
$$\lambda = \frac{\ln 2}{138 \times 24 \times 3600}$$

$\lambda = 5{,}81 \times 10^{-8}\ \mathrm{s}^{-1}$

PIÈGE
Laisser la demi-vie en jours : on obtient $5{,}02 \times 10^{-3}\ \mathrm{jour}^{-1}$, pas des s^{-1}, et l'activité de la question 6.2 ne sera pas en becquerels.

COMPRENDRE
La relation vient de $N(t_{1/2}) = N_0/2$: $\mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}} = 1/2$, d'où $\lambda\,t_{1/2} = \ln 2$. Trois chiffres significatifs, comme la demi-vie de 138 jours.

À LA CALCULATRICE



6.1 Calculer le nombre N de noyaux présents dans une masse $m = 1{,}00$ g de polonium 210.

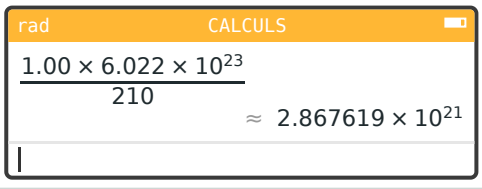
Données utiles $M(^{210}\mathrm{Po}) = 210\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $N_A = 6{,}022 \times 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$

Quantité de matière : $n = \dfrac{m}{M}$, et $N = n\,N_A$, donc $N = \dfrac{m\,N_A}{M}$.

$$N = \frac{1{,}00 \times 6{,}022 \times 10^{23}}{210}$$

$N = 2{,}87 \times 10^{21}$ noyaux

À LA CALCULATRICE



6.2 Justifier, par un calcul, la phrase « un seul gramme de polonium 210 présente une activité de 166 000 milliards de becquerels ».

Données utiles $\lambda = 5{,}81 \times 10^{-8}\ \text{s}^{-1}$ (Q5.3) ; $N = 2{,}87 \times 10^{21}$ (Q6.1)

D'après la question 5.2 : $A = \lambda N$.

$$A = 5{,}81 \times 10^{-8} \times 2{,}87 \times 10^{21} = 1{,}67 \times 10^{14}\ \text{Bq}$$

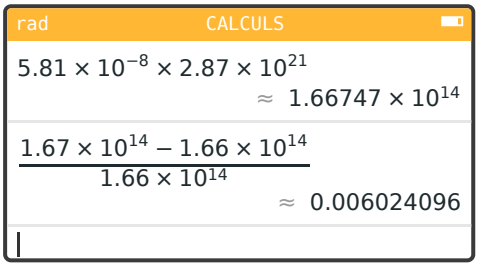
Valeur du texte : $166\,000 \text{ milliards} = 166\,000 \times 10^{9} = 1{,}66 \times 10^{14}\ \text{Bq}$.

L'écart relatif entre les deux valeurs est inférieur à 1 % : il vient des arrondis sur la demi-vie et la masse molaire.

$A = 1{,}67 \times 10^{14}\ \text{Bq} \approx 1{,}66 \times 10^{14}\ \text{Bq}$: la phrase est justifiée.

PIÈGE
Un milliard vaut 10^9 et non 10^6. Sans conversion de la valeur du texte en puissance de dix, la comparaison n'est pas faite et la justification reste incomplète.

À LA CALCULATRICE



7 Pour la réaction bilan ${}^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + x\,{}^{4}_{2}\text{He} + y\,{}^{0}_{-1}\text{e}$, déterminer le nombre x de désintégrations α et le nombre y de désintégrations β^-.

Conservation du nombre de nucléons : $238 = 206 + 4x + 0 \times y$, donc $4x = 32$, soit $x = 8$.

Conservation du nombre de charge : $92 = 82 + 2x - y$, donc $y = 2x - 10 = 2 \times 8 - 10 = 6$.

$x = 8$ désintégrations α et $y = 6$ désintégrations β^-.

PIÈGE
Compter la charge de l'électron positivement. Son nombre de charge est -1 : chaque désintégration β^- augmente Z d'une unité.

MÉTHODE
Commencer par les nucléons : l'électron a un nombre de nucléons nul, l'équation ne contient donc que x. Reporter ensuite x dans la conservation de la charge.

8.1 Exprimer l'énergie E de la réaction ${}^{9}_{4}\text{Be} + {}^{4}_{2}\text{He} \longrightarrow {}^{12}_{6}\text{C} + {}^{1}_{0}\text{n}$ à partir des données.

L'énergie de la réaction est le produit de la variation de masse du système par c^2 : $E = (m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}})\,c^2$.

$$E = \left[m({}^{12}_{6}\text{C}) + m({}^{1}_{0}\text{n}) - m({}^{9}_{4}\text{Be}) - m({}^{4}_{2}\text{He}) \right] c^2$$

PIÈGE
Inverser l'ordre de la différence. Avec « réactifs moins produits », on obtient l'énergie libérée, positive, et le commentaire de signe de la question 8.3 devient incohérent.

8.2 Calculer la valeur de E en joules.

Données utiles $m({}^{9}_{4}\text{Be}) = 9{,}00998$ u ; $m({}^{4}_{2}\text{He}) = 4{,}00151$ u ; $m({}^{12}_{6}\text{C}) = 11{,}99671$ u ; $m({}^{1}_{0}\text{n}) = 1{,}00866$ u ; $1\ \text{u} = 1{,}6605 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 2{,}99792 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Variation de masse : $\Delta m = 11{,}99671 + 1{,}00866 - 9{,}00998 - 4{,}00151 = -0{,}00612$ u

En kilogrammes : $\Delta m = -0{,}00612 \times 1{,}6605 \times 10^{-27} = -1{,}02 \times 10^{-29}$ kg

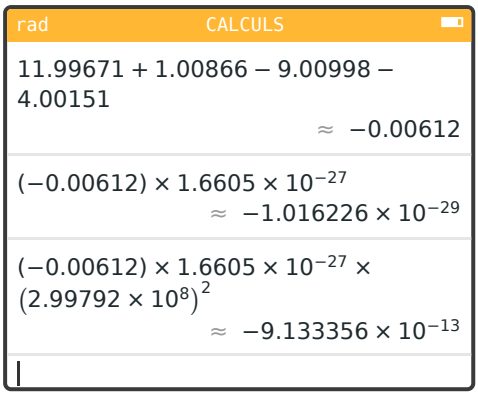
$$E = \Delta m\, c^2 = -0{,}00612 \times 1{,}6605 \times 10^{-27} \times (2{,}99792 \times 10^{8})^2$$

$E = -9{,}13 \times 10^{-13}$ J

PIÈGE
Arrondir les masses avant de les soustraire : la différence ne porte que sur les dernières décimales et disparaît. Penser aussi à convertir les unités de masse atomique en kilogrammes.

COMPRENDRE
Les masses ont six ou sept chiffres, mais leur différence, 0,00612 u, n'en garde que trois : le résultat s'écrit avec trois chiffres significatifs.

À LA CALCULATRICE



8.3 Commenter le signe de la valeur obtenue pour E.

Données utiles $E = -9{,}13 \times 10^{-13}$ J (Q8.2)

$E < 0$: la masse des produits est inférieure à celle des réactifs. Le système {béryllium + particule alpha} perd de la masse, donc de l'énergie, au cours de la réaction.

E est négative : le système **cède de l'énergie au milieu extérieur**. La réaction libère $9{,}13 \times 10^{-13}$ J.

COMPRENDRE

Cette énergie est emportée sous forme d'énergie cinétique par le noyau de carbone et surtout par le neutron, ce qui fait de l'ensemble polonium-béryllium une source de neutrons rapides.