Le radon et ses effets néfastes

Bac S 2007 Polynésie rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Écrire le symbole du noyau d'uranium 238 et donner sa composition.

Données utiles uranium : $Z = 92$

Symbole : ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$.

Le numéro atomique $Z = 92$ donne le nombre de protons ; le nombre de masse $A = 238$ donne le nombre de nucléons. Nombre de neutrons : $A - Z = 238 - 92 = 146$.

${}^{238}_{92}\mathrm{U}$: 92 protons et 146 neutrons.

PIÈGE
Compter des électrons. La question porte sur le noyau : il ne contient que des protons et des neutrons.

1.2 Écrire l'équation de la désintégration de l'uranium 238 et montrer qu'il s'agit d'une radioactivité α.

Données utiles thorium : $Z = 90$; le thorium formé est le thorium 234 (question 1.3)

D'après le texte, l'uranium 238 donne du thorium ($Z = 90$). On note ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ la particule émise :

$$ {}^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X} $$

Conservation du nombre de charge : $92 = 90 + Z$, donc $Z = 2$.

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

La particule émise est un noyau d'hélium 4, ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$, c'est-à-dire une particule α.

${}^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$: radioactivité α.

COMPRENDRE
Le texte ne dit pas quel isotope du thorium se forme. C'est la question 1.3 qui indique le thorium 234 ; la valeur $Z = 2$ suffit déjà à reconnaître l'hélium.

MÉTHODE
Pour toute équation nucléaire, écrire deux bilans séparés : celui des nombres de charge (en bas) et celui des nombres de nucléons (en haut). Le numéro atomique trouvé identifie l'élément grâce au tableau.

1.3.1 Le thorium 234 est radioactif β⁻. Écrire l'équation de cette désintégration.

Données utiles thorium : $Z = 90$; protactinium : $Z = 91$

Une désintégration β⁻ émet un électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$:

$$ {}^{234}_{90}\mathrm{Th} \longrightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} $$

Nombre de nucléons : $234 = A + 0$, donc $A = 234$.

Nombre de charge : $90 = Z - 1$, donc $Z = 91$: le noyau fils est un noyau de protactinium.

${}^{234}_{90}\mathrm{Th} \longrightarrow {}^{234}_{91}\mathrm{Pa} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

PIÈGE
Écrire $Z = 89$. L'électron porte le nombre de charge -1 : le numéro atomique du noyau fils augmente d'une unité, tandis que le nombre de nucléons ne change pas.

1.3.2 Le noyau fils, émetteur β^-, forme de l'uranium 234. Montrer qu'une série de désintégrations α de l'uranium 234 conduit bien au radon 222.

Données utiles uranium : $Z = 92$; radon : $Z = 86$

On suppose que x désintégrations α se succèdent :

$$^{234}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} + x\,{}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

Nombre de nucléons : $234 = 222 + 4x$, donc $x = \dfrac{234 - 222}{4} = 3$.

Nombre de charge : $92 = 86 + 2x$, donc $x = \dfrac{92 - 86}{2} = 3$.

Les deux bilans donnent le même entier : la série est possible.

Trois désintégrations α mènent de l'uranium 234 au radon 222, en passant par $^{230}_{90}\mathrm{Th}$ puis $^{226}_{88}\mathrm{Ra}$.

COMPRENDRE
Chaque émission α retire 4 nucléons et 2 charges. Si les deux bilans avaient donné des valeurs de x différentes, des désintégrations α seules n'auraient pas suffi.

1.3.3 Commenter la phrase « Quelques notions de chimie : l'uranium 238 se transforme en thorium, puis en radium et enfin en radon ».

Deux critiques.

- Le mot « chimie » est mal choisi : ce sont les noyaux qui changent, donc des transformations nucléaires. Une transformation chimique conserve les éléments et ne touche qu'aux électrons.
- La filiation est incomplète. La chaîne réelle est : $^{238}_{92}\mathrm{U} \to {}^{234}_{90}\mathrm{Th} \to {}^{234}_{91}\mathrm{Pa} \to {}^{234}_{92}\mathrm{U} \to {}^{230}_{90}\mathrm{Th} \to {}^{226}_{88}\mathrm{Ra} \to {}^{222}_{86}\mathrm{Rn}$.

Il s'agit de physique nucléaire, et l'article omet le protactinium 234, l'uranium 234 et le second passage par le thorium.

2.1 Deux comptages successifs donnent 68 puis 78 désintégrations. Quel caractère de la désintégration radioactive explique cet écart ?

La désintégration d'un noyau est un phénomène aléatoire : on ne peut pas prévoir l'instant où un noyau donné se désintègre. Le nombre de désintégrations comptées pendant une même durée fluctue donc d'une mesure à l'autre.

L'écart est dû au caractère aléatoire de la désintégration radioactive.

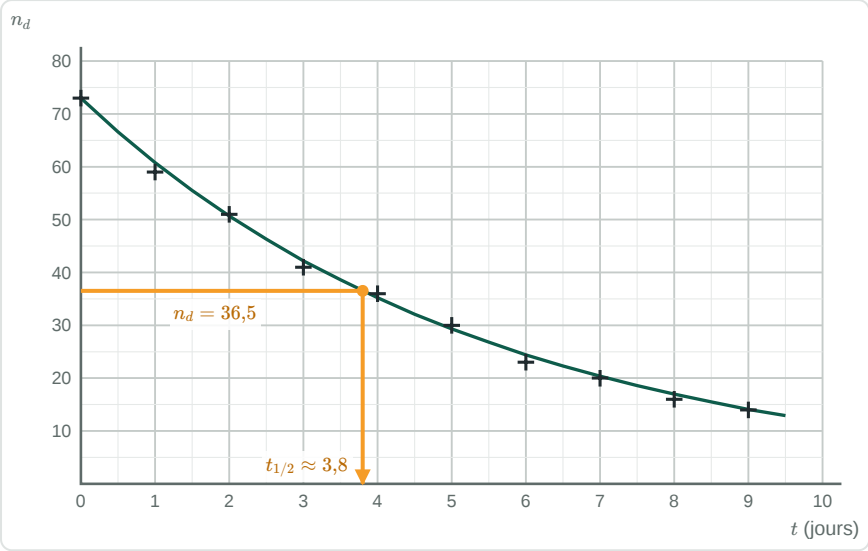
COMPRENDRE
Seul le comportement moyen d'un grand nombre de noyaux est prévisible. Ici les comptages sont faibles (environ 70), donc les fluctuations relatives sont importantes.

2.2 Tracer la courbe donnant $n_d = f(t)$ (échelles : 1 cm pour 0,5 jour et 1 cm pour 5 désintégrations).

On place les dix points du tableau, puis on trace à main levée une courbe régulière décroissante qui passe au plus près de l'ensemble des points, sans les relier par des segments.

Courbe décroissante, de 73 désintégrations à $t = 0$ jusqu'à 14 désintégrations à $t = 9$ jours (figure).

PIÈGE
Relier les points à la règle. Les mesures fluctuent : on attend une courbe lissée, de plus en plus aplatie, qui laisse des points de part et d'autre.



2.2 · Nombre de désintégrations comptées en 500 s en fonction de la date, et lecture de la demi-vie (question 2.3)

2.3 Déterminer à l'aide du graphique la demi-vie $t_{1/2}$ du radon 222.

Données utiles $n_d(0) = 73$

La demi-vie est la durée au bout de laquelle l'activité de l'échantillon, donc le nombre de désintégrations comptées en 500 s, est divisée par deux.

$$\frac{n_d(0)}{2} = \frac{73}{2} = 36{,}5$$

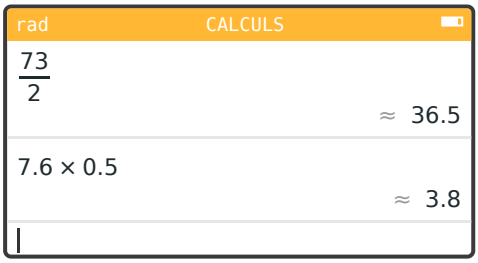
On trace l'horizontale d'ordonnée 36,5 (soit 7,3 cm sur le papier) : elle coupe la courbe à l'abscisse 7,6 cm, soit $7{,}6 \times 0{,}5 = 3{,}8$ jours.

$t_{1/2} \approx 3{,}8$ jours

COMPRENDRE
Une lecture graphique donne deux chiffres significatifs au mieux. Selon le tracé de la courbe, toute valeur comprise entre 3,7 et 3,9 jours est recevable.

MÉTHODE
Vérification : au bout de deux demi-vies, n_d doit être divisé par quatre. À $t = 7{,}6$ jours la courbe passe près de 18, proche de $73/4$.

À LA CALCULATRICE



2.4 La durée de comptage Δt est-elle adaptée à l'étude du radon 222 ?

Données utiles $\Delta t = 500$ s ; $t_{1/2} = 3{,}8$ jours (2.3)

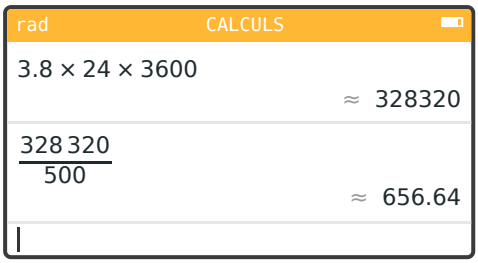
$t_{1/2} = 3{,}8 \times 24 \times 3600 = 3{,}3 \times 10^5$ s, soit plus de 600 fois la durée d'un comptage.

Pendant les 500 s d'une mesure, l'activité de l'échantillon ne varie donc pratiquement pas : chaque comptage correspond bien à l'activité à la date de la mesure.

Oui : $\Delta t = 500$ s $\ll t_{1/2} \approx 3{,}3 \times 10^5$ s, la durée de comptage est adaptée.

PIÈGE
Comparer 500 et 3,8 sans convertir. Les deux durées doivent être dans la même unité avant de conclure.

À LA CALCULATRICE



2.5 Déterminer l'activité de l'échantillon à la date $t = 0$, c'est-à-dire lors du prélèvement.

Données utiles $n_d(0) = 73$; $\Delta t = 500$ s

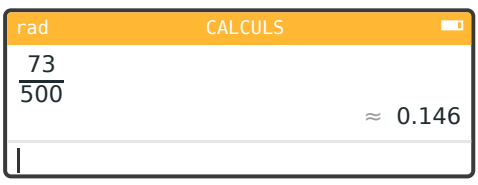
L'activité est le nombre de désintégrations par seconde. Comme elle reste quasi constante pendant le comptage (2.4) :

$$A_0 = \frac{n_d(0)}{\Delta t} = \frac{73}{500} = 0{,}15 \text{ Bq}$$

$A_0 = 0{,}15$ Bq

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $n_d = 73$. Un becquerel correspond à une désintégration par seconde : ici, une désintégration toutes les sept secondes environ.

À LA CALCULATRICE



2.6 La concentration en radon 222 dans la pièce où l'on a effectué le prélèvement est-elle dangereuse ?

Données utiles $A_0 = 0{,}146$ Bq (2.5) ; $V = 120$ mL ; seuil de précaution : 400 Bq/m³ ; seuil d'alerte : 1000 Bq/m³

Volume d'air prélevé : $V = 120 \text{ mL} = 120 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 1{,}20 \times 10^{-4} \text{ m}^3$.

Activité par mètre cube d'air :

$$\frac{A_0}{V} = \frac{0{,}146}{1{,}20 \times 10^{-4}} = 1{,}2 \times 10^3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$$

Cette valeur dépasse le seuil d'alerte de $1000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$.

$\frac{A_0}{V} = 1{,}2 \times 10^3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3} > 1000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$: la concentration en radon est dangereuse.

PIÈGE
Conversion du volume : $1 \text{ mL} = 10^{-6} \text{ m}^3$, et non 10^{-3} m^3. Avec des litres, on trouverait une valeur mille fois trop petite et une conclusion fausse.

COMPRENDRE
Les trois comptages initiaux (68, 73, 78) donnent entre $1{,}1 \times 10^3$ et $1{,}3 \times 10^3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$: malgré les fluctuations, le seuil d'alerte est toujours dépassé.

À LA CALCULATRICE

