

Concours blanc des 5^e année PHBMR

Exercice d'application – Radioactivité

Le polonium 210 est un radionucléide naturel présent à l'état de traces dans l'environnement. L'activité spécifique du polonium 210 (^{210}Po) est de $1,66 \times 10^{14}$ Bq par gramme. Il s'agit donc d'une substance extrêmement toxique : le polonium 210 est environ un million de fois plus toxique que le cyanure de sodium ou de potassium.

Données :

- Équivalent énergétique de l'unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$
- Nombre d'Avogadro : $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Masses du proton (m_p) et du neutron (m_n) :

$$m_p = 1,00727647 \text{ u}$$

$$m_n = 1,00866492 \text{ u}$$

- Numéros atomiques et masses atomiques de quelques nucléides :

Z	2	82	84
Symbole	He	Pb	Po
Nom	hélium 4	plomb 206	polonium 210
Masse atomique (u)	4,00260325	205,974449	209,982857

- Masse M du noyau de polonium 210 :

$$M = 209,936776 \text{ u}$$

1) De combien de neutrons est constitué le noyau du polonium 210 ? **2 points**

210 nucléons – 84 protons = 126 neutrons

2) Une particule est émise lors de la désintégration du polonium 210 en plomb 206. Quelle est cette particule ? Justifier. **2 points**

Équation de désintégration :



donc émission d'un noyau d'hélium ^4_2He (particule alpha).

3) Quelle est l'énergie de liaison par nucléon du polonium 210 ? **4 points**

Le défaut de masse ΔM s'écrit :

$$\Delta M = Z m_p + (A - Z) m_n - M$$

L'énergie ΔE correspondant à ΔM est : $\Delta E = \Delta M c^2$

Rappel : L'énergie ΔE correspondant à ΔM est l'énergie de liaison totale du noyau : c'est l'énergie à fournir au noyau pour le séparer en ses différents nucléons. De manière équivalente, c'est l'énergie libérée quand le noyau se forme.

L'énergie de liaison moyenne E_ℓ par nucléon s'écrit :

$$E_\ell = \frac{\Delta E}{A} = \frac{\Delta M c^2}{A} = \frac{[Z m_p + (A - Z) m_n - M] \times c^2}{A}$$

A.N. :

$$E_\ell = \frac{[84 \times 1,00727647 + (210 - 84) \times 1,00866492 - 209,936776] \times c^2}{210} \times 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

$$E_\ell = 7,83 \text{ MeV}$$

4) Quelle est l'énergie libérée lors de la désintégration ? 2 points

$$Q = [M_{at}(X) - M_{at}(Y) - M_{at}(He)] c^2$$

A.N. :

$$Q = [209,982857 - 205,974449 - 4,00260325] c^2 \times 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

$$Q = 5,41 \text{ MeV}$$

5) Quelle est la période physique du polonium 210 ? 4 points

On sait que l'activité spécifique (également appelé activité massique) du polonium 210 est de $1,66 \times 10^{14}$ Bq par gramme. Or, on a :

$$A(t) = \lambda N(t) = \frac{\ln 2}{T} N(t)$$

et que le nombre de noyaux $N(t)$ est lié à la masse des noyaux $m(t)$ par :

$$m(t) = N(t) \times \underbrace{\frac{M_{mol}}{N_A}}_{\text{masse d'un atome}}$$

On a donc :

$$m(t) = \frac{A(t) M_{mol}}{\lambda N_A}$$

soit

$$m(t) = \frac{A(t)}{\ln 2} T \frac{M_{mol}}{N_A}$$

ou encore

$$T = \frac{\ln 2}{A(t)} \frac{N_A}{M_{mol}} m(t)$$

A.N. :

$$T = \frac{\ln 2}{1,66 \times 10^{14} \text{ Bq}} \frac{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{210 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} 1 \text{ g} = 11\,973\,988,3 \text{ s}$$

$$T = 139 \text{ jours}$$

Il faut bien connaître et savoir retrouver le lien entre activité massique et période physique.

5) De quel pourcentage a été réduit l'activité du polonium 210 au bout de 10 périodes physiques ? *2 points*

En notant n le nombre de périodes attendues (on attend donc un temps $t = n T$) :

$$\frac{A(t)}{A_0} = \frac{1}{2^n}$$

A. N. :

$$\frac{A(t)}{A_0} = \frac{1}{2^{20}} = \frac{1}{1\,024} = 9,765625 \times 10^{-4}$$

D'où :

$$\frac{A_0 - A(t)}{A_0} = 1 - \frac{A(t)}{A_0} = 1 - \frac{1}{1\,024} = 0,999 = 99,9 \%$$

L'activité a été réduit de 99,9 %.

Remarque : Soit x le pourcentage de réduction de l'activité. On a :

$$A(t) = A_0 - \frac{x}{100} A_0$$

soit

$$x = \frac{A_0 - A(t)}{A_0} \times 100$$

6) L'intoxication d'une personne peut résulter d'une ingestion de polonium 210 incorporé dans des aliments. On suppose qu'une personne ingère 100 ng de polonium 210 dissous dans une boisson. À combien de noyaux de polonium 210 correspond cette masse ? *2 points*

Masse d'un noyau de polonium :

$$M = \frac{M_{mol}}{N_A}$$

D'où le nombre N de noyaux contenus dans un échantillon de masse m :

$$N = \frac{m}{M} = m \frac{N_A}{M_{mol}}$$

A.N. :

$$N = 100 \times 10^{-9} \text{ g} \times \frac{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{210 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 2,87 \times 10^{14} \text{ noyaux}$$

7) La dose efficace corps entier du polonium 210 lorsqu'il est ingéré est de $0,51 \mu\text{Sv/Bq}$. La dose létale médiane (DL50) par syndrome d'irradiation globale aigue est de $4,5 \text{ Sv}$. La dose reçue par cette personne dépasse-t-elle la dose létale médiane ? *2 points*

La masse m de l'échantillon est de $A = 100 \text{ ng}$. L'activité spécifique A_s étant de $1,66 \times 10^{14} \text{ Bq}$ par gramme, l'activité ingérée A est de :

$$A = A_s \times m = 1,66 \times 10^{14} \frac{\text{Bq}}{\text{g}} \times 100 \times 10^{-9} \text{ g} = 1,66 \times 10^7 \text{ Bq}$$

La dose reçue est donc de :

$$0,51 \times 10^{-6} \times \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} \times 1,66 \times 10^7 \text{ Bq} = 8,47 \text{ Sv} > 4,5 \text{ Sv}$$

La dose reçue dépasse donc la dose létale médiane.

8) Une fois dans l'organisme, la période biologique du polonium 210 est de 50 jours (élimination par les urines). Quelle est la période efficace du polonium 210 ? *2 points*

On a :

$$\frac{1}{T_{\text{eff}}} = \frac{1}{T} + \frac{1}{T_b}$$

soit

$$T_{\text{eff}} = \frac{T T_b}{T + T_b}$$

A.N. :

$$T_{\text{eff}} = \frac{139 \text{ j} \times 50 \text{ j}}{139 \text{ j} + 50 \text{ j}} = 36,8 \text{ j}$$