

## Concours blanc des 5<sup>e</sup> 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 ( $^{210}\text{Po}$ ) 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  $^4_2\text{He}$  (particule alpha).**

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

**Le défaut de masse  $\Delta M$  s'écrit :**

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

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

**Rappel : L'énergie  $\Delta E$  correspondant à  $\Delta M$  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  $E_\ell$  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 réduite 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  $50 \text{ jours}$  (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. :

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