

Concours blanc des 4^e année PHBMR – Mai 2024

Exercice d'application – Radioactivité

Le 26 avril 1986 un réacteur de la centrale nucléaire de Tchernobyl s'emballa et explosa. Le panache ainsi rejeté dans l'atmosphère a disséminé des radionucléides importants sur le plan sanitaire tels que l'iode 131 et le césium 137.

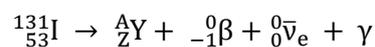
Données :

- constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- équivalent énergétique de l'unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$
- 1 an = 365,25 jours
- numéro atomique de quelques éléments :

Z	51	52	53	54	55	56
Symbole	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba
Nom	antimoine	tellure	iode	xénon	césium	baryum

QUESTION N° 1 (20 points) :

L'iode 131 est un émetteur β^- de période radioactive $T = 8,0$ jours qui se désintègre selon l'équation :



Y représente le noyau formé dans son état fondamental.

a) Préciser le nombre de masse A, le numéro atomique Z et le nom du noyau Y.

A = 131 (2 points) Z = 54 (2 points) Y = xénon (2 points)

b) Calculer, en MeV, l'énergie cinétique maximale $E_{\beta^- \text{max}}$ emportée par le rayonnement β^- .

On donne les masses des atomes $M(^{131}_{53}\text{I}) = 130,906114 \text{ u}$ et $M(^{131}_{54}\text{Xe}) = 130,905072 \text{ u}$ et l'énergie $E_\gamma = 0,364 \text{ MeV}$ du rayonnement γ émis lors du retour à l'état fondamental du noyau Y.

$$E_{\beta^- \text{max}} = [M(^{131}_{53}\text{I}) - M(^{131}_{54}\text{Xe})] \cdot c^2 - E_\gamma$$

$$E_{\beta^- \text{max}} = [130,906114 - 130,905072] \cdot 931,5 - 0,364 = 0,607 \text{ MeV}$$

(2 points raisonnement, 2 points résultat)

c) Calculer la constante radioactive λ , en j^{-1} , de l'iode 131. Donner sa signification physique.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{\ln 2}{8,0} = 0,0866 \text{ j}^{-1} \text{ (3 points)}$$

La constante radioactive représente la probabilité de désintégration d'un noyau par unité de temps. (2 points)

d) L'activité de l'iode 131 rejetée lors de l'explosion de Tchernobyl est évaluée à $A_0 = 1,76 \cdot 10^9 \text{ GBq}$. Au bout de combien de jours cette activité est-elle devenue inférieure à 1 Bq ?

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \quad \rightarrow \quad t = \frac{T}{\ln 2} \cdot \ln \frac{A_0}{A} = \frac{8,0}{\ln 2} \cdot \ln \frac{1,76 \cdot 10^{18}}{1} = 485 \text{ j}$$

(3 points raisonnement, 2 points résultat)

QUESTION N° 2 (20 points) :

Le césium 137 est également un émetteur β^- mais de période radioactive $T = 30,1 \text{ ans}$. La contamination des sols à la suite de l'explosion est principalement due à ce radionucléide. Selon le comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements atomiques (UNSCEAR), une surface d'aire $S = 10\,000 \text{ km}^2$ de territoire de l'ex-Union Soviétique a été contaminée en 1986 avec du césium 137 produisant une radioactivité surfacique de $555 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$.

a) Calculer le nombre de noyaux de césium 137 qui correspondent à une activité de 555 kBq.

$$A = \lambda N \quad \rightarrow \quad N = \frac{A \cdot T}{\ln 2} = \frac{555 \cdot 10^3 \times 30,1 \times 365,25 \times 24 \times 3600}{\ln 2} = 7,6 \cdot 10^{14}$$

(3 points raisonnement, 2 points résultat)

b) Calculer la masse, en kg, de césium 137 qui a été déposée sur les territoires contaminés de l'ex-Union Soviétique d'aire $S = 10\,000 \text{ km}^2$.

$$m = \frac{M_A \cdot N}{N_A} \cdot S = \frac{137 \times 7,6 \cdot 10^{14}}{6,02 \cdot 10^{23}} \cdot 10^{10} = 1,73 \cdot 10^3 \text{ g} = 1,73 \text{ kg}$$

(3 points raisonnement, 2 points résultat)

c) Si on suppose que la décroissance radioactive est la seule cause de décontamination et qu'il n'y a pas de nouvel apport de césium 137, au bout de combien d'années la radioactivité surfacique des territoires contaminés passera-t-elle de $555 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$ à $37 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$, limite inférieure de contamination selon l'UNSCEAR.

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \quad \rightarrow \quad t = \frac{T}{\ln 2} \cdot \ln \frac{A_0}{A} = \frac{30,1}{\ln 2} \cdot \ln \frac{555}{37} = 118 \text{ ans}$$

(3 points raisonnement, 2 points résultat)

d) Après ingestion accidentelle, le césium 137 se répartit de manière homogène dans tout l'organisme. Sachant que la constante d'élimination effective est $\lambda_e = 0,01007 \text{ j}^{-1}$ chez un adulte, calculer la période biologique (en jours) du césium pour l'organisme entier.

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_b} + \frac{1}{T_r}$$

Avec $T_e = \left(\frac{\ln 2}{\lambda_e}\right)$ période effective

T_b période biologique

T_r période radioactive

$$T_b = \left(\frac{\lambda_e}{\ln 2} - \frac{1}{T_r}\right)^{-1} = \left(\frac{0,01007}{\ln 2} - \frac{1}{30,1 \times 365,25}\right)^{-1} = 69,3 \text{ j}$$

(3 points raisonnement, 2 points résultat)

TOTAL 40 points