

Devoir surveillé – Transformation nucléaire : décroissance radioactive et demi-vie

Radioactivité α , β^- , β^+ , loi de décroissance exponentielle, demi-vie, activité, datation et applications
(thème Constitution et transformations de la matière)

Durée : 120 min – Calculatrice interdite – Sur 20 points · Spécialité Physique-Chimie Terminale

Nom : _____ Date : _____ Note : _____ / 20

Tous les calculs doivent figurer sur la copie. Les résultats seront donnés sous la forme la plus simple possible.

Exercice 1 – Équations de désintégration et diagramme (N, Z) (4 pts)

- L'américium 241 ($Z = 95$), présent dans d'anciens détecteurs de fumée, est émetteur α . Écrire l'équation de sa désintégration (neptunium : $Z = 93$).
- Le strontium 90 ($Z = 38$) est émetteur β^- . Écrire l'équation de sa désintégration (yttrium : $Z = 39$).
- L'azote 13 ($Z = 7$) est émetteur β^+ . Écrire l'équation de sa désintégration (carbone : $Z = 6$).
- Les isotopes stables du strontium ont des nombres de masse compris entre 84 et 88. Situer le strontium 90 par rapport à la vallée de stabilité et justifier son type de radioactivité.

Exercice 2 – Loi de décroissance du lutécium 177 (4 pts)

- Le lutécium 177, utilisé en radiothérapie interne, a une demi-vie de 6,65 jours. Donner l'expression de $N(t)$ et calculer la constante radioactive λ en j^{-1} .
- Calculer le pourcentage de noyaux restant 15,0 jours après l'injection.
- Déterminer la durée au bout de laquelle l'activité est divisée par 20.
- Montrer que, quelle que soit la date t , $N(t + t_{1/2}) = \frac{N(t)}{2}$.

Exercice 3 – Activité d'une source de plutonium 238 (4 pts)

- Le plutonium 238 ($Z = 94$) est émetteur α . Écrire l'équation de sa désintégration (uranium : $Z = 92$).
- Les sondes Voyager, lancées en 1977, emportent des générateurs électriques au plutonium 238 ($t_{1/2} = 87,7$ ans, $M = 238 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$). Calculer l'activité de 500 g de plutonium 238. Données : $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $1 \text{ an} = 3,156 \times 10^7 \text{ s}$.
- Calculer le pourcentage de l'activité initiale restant en 2026, soit 49 ans après le lancement.
- Expliquer pourquoi une enveloppe métallique de quelques millimètres suffit à arrêter le rayonnement principal de cette source, et pourquoi elle reste dangereuse en cas de dispersion.

Exercice 4 – Datation potassium-argon d’une coulée volcanique (4 pts)

- a) Le potassium 40 ($t_{1/2} = 1,25 \times 10^9$ ans) se désintègre en partie en argon 40, un gaz. Expliquer pourquoi on peut considérer qu’une lave, au moment de sa solidification, ne contient pas d’argon 40.
- b) Modèle simplifié : on admet que chaque noyau de potassium 40 désintégré donne un noyau d’argon 40 retenu dans la roche. Montrer que l’âge de la roche vaut $t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + \frac{N_{\text{Ar}}}{N_{\text{K}}} \right)$.
- c) Dans un basalte, on mesure $\frac{N_{\text{Ar}}}{N_{\text{K}}} = 0,0850$. Calculer l’âge de la coulée dans ce modèle.
- d) Expliquer pourquoi le carbone 14 ($t_{1/2} = 5\,730$ ans) ne permettrait pas de dater cette coulée.

Exercice 5 – Radium 223 en médecine et radioprotection (4 pts)

- a) Le radium 223 ($Z = 88$, $t_{1/2} = 11,4$ jours), émetteur α , traite des métastases osseuses. Écrire l’équation de sa désintégration (radon : $Z = 86$).
- b) La dose prescrite est de 55 kBq par kilogramme de masse corporelle. Calculer l’activité injectée à un patient de 70,0 kg, puis l’activité restante 28,0 jours plus tard, date de l’injection suivante (on néglige l’élimination biologique).
- c) Montrer que le nombre de noyaux de radium 223 injectés est d’environ $5,5 \times 10^{12}$.
- d) Expliquer l’intérêt d’un émetteur α pour détruire une tumeur osseuse, et citer les trois règles de radioprotection appliquées par le personnel soignant.

Bon courage !