

EPREUVE D'EXERCICE D'APPLICATION

Exercice N° 5 (40 points)

Enoncé

Le thallium 201 (^{201}Tl) est utilisé pour réaliser des scintigraphies du myocarde dans le but d'évaluer la perfusion coronarienne et la viabilité du myocyte.

Données :

- équivalent énergétique de l'unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$
- masse des atomes : $M(^{201}\text{Tl}) = 200,970794 \text{ u}$ et $M(^{201}\text{Hg}) = 200,970277 \text{ u}$
- masse de l'électron : $m_e = 0,511 \text{ MeV}/c^2$
- périodes radioactives : $T(^{201}\text{Tl}) = 73 \text{ h}$ et $T(^{202}\text{Tl}) = 294 \text{ h}$
- numéro atomique Z des éléments suivants :

Elément	Hg	Tl	Pb
Z	80	81	82

- énergies d'ionisation E_i (en keV) des niveaux électroniques du mercure 201 :

Niveau	K	L_I	L_{II}	L_{III}
E_i (keV)	83	15	14	12

Les questions N°1, 2 et 3 sont indépendantes.

Questions**QUESTION N° 1 :**

Formation du thallium 201

- Une cible de thallium 203 est soumise à un flux de protons ; il se forme alors du plomb 201. Ecrire l'équation de cette transformation et donner le nom des particules émises.
- Le plomb 201 se transforme spontanément en thallium 201. Quels sont les types de désintégration théoriquement possibles ? Justifier.

Proposition de réponse

- $^{203}_{81}\text{Tl} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^{201}_{82}\text{Pb} + 3 {}^1_0\text{n}$ Trois neutrons sont émis.
- Transformation isobarique ($A = 201$) et diminution du numéro atomique Z de 82 (^{201}Pb) à 81 (^{201}Tl) \Rightarrow désintégration par émission β^+ (si énergie disponible supérieure à 1,022 MeV) ou par capture électronique.

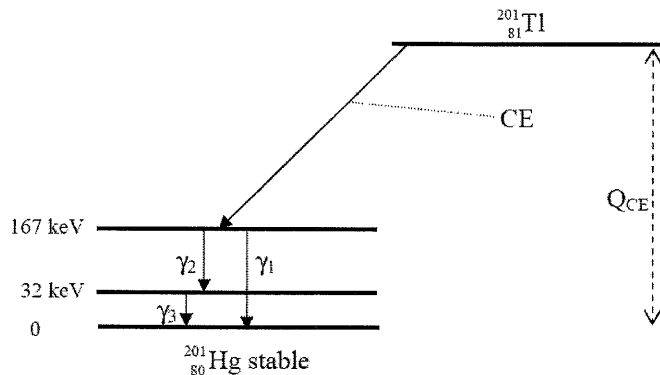
QUESTION N° 2 :

Désintégration du thallium 201

EPREUVE D'EXERCICE D'APPLICATION

Exercice N° 5 (40 points)

Le thallium 201 se désintègre en mercure 201 par capture électronique (CE) selon le schéma simplifié ci-après :



- Pourquoi la désintégration beta + du thallium 201 n'est-elle pas possible ?
- Quelle est l'énergie, en keV, des photons gamma γ_1 et gamma γ_2 émis au cours de cette désintégration ?
- Au cours de cette désintégration, un électron de conversion interne d'énergie 84 keV est émis. Expliquer son origine.
- Au cours de cette désintégration, un rayonnement X d'énergie 71 keV est émis. Expliquer son origine.

Proposition de réponse

- a) L'énergie disponible pour la désintégration du thallium 201 est égale à :

$$Q = [M(^{201}\text{Tl}) - M(^{201}\text{Hg})] \cdot c^2 = (200,970794 - 200,970277) \cdot 931,5 = 0,48 \text{ MeV}$$

Comme cette valeur est inférieure à 1,022 MeV (2 fois l'énergie de masse de l'électron), la désintégration β^+ du thallium 201 n'est pas possible. Seule la capture électronique est possible.

- b) Les photons γ sont émis par **désexcitation électromagnétique du noyau de mercure 201 excité** qui est formé après capture électronique. Le photon γ_1 correspond à la transition du niveau d'énergie 167 keV vers le niveau fondamental (0 keV) soit $E_{\gamma_1} = 167 \text{ keV}$ et le photon γ_2 correspond à la transition du niveau d'énergie 167 keV vers le niveau d'énergie 32 keV soit $E_{\gamma_2} = 167 - 32 = 135 \text{ keV}$.
- c) A l'issue de la capture électronique, le noyau de mercure 201 excité possède un surplus d'énergie de 167 keV. Ce surplus peut être restitué soit sous forme d'un rayonnement électromagnétique γ (question 2b) soit transmis à un électron de l'atome (conversion interne) qui est éjecté avec une énergie cinétique égale à la différence entre le surplus d'énergie de l'atome et l'énergie d'ionisation du niveau. Pour un électron de conversion interne du niveau K : $E_c = 167 - 83 = 84 \text{ keV}$
- d) Après capture d'un électron du niveau K ($E_i = 83 \text{ keV}$), l'atome de mercure 201 formé se trouve dans un état excité. Le retour à l'état fondamental se fait par des **transitions électroniques**. En consultant le tableau des énergies d'ionisation de l'atome de mercure 201, on constate que la transition d'un électron du niveau L_{III} au niveau K correspond à une énergie libérée $\Delta E = E_{\text{IK}} - E_{\text{ILIII}} = 83 - 12 = 71 \text{ keV}$. Cette énergie peut être libérée sous forme d'un rayonnement électromagnétique qui correspond au domaine des **rayons X**.

QUESTION N° 3 :

Radiopharmacie

Six scintigraphies myocardiques doivent être réalisées dans un service de médecine nucléaire le jeudi matin à 10 h. Pour simplifier, on considère qu'elles sont réalisées en même temps. L'activité injectée par patient est de 110 MBq. La radiopharmacie a commandé un flacon de thallium 201 d'activité 296 MBq, calibrée le lundi suivant à 10 h du matin.

EPREUVE D'EXERCICE D'APPLICATION

Exercice N° 5 (40 points)

- L'activité commandée est-elle suffisante ? Justifier votre choix.
- Après utilisation pour les six patients, calculer l'activité résiduelle en thallium 201 dans le flacon le jeudi à 10 h.
- Le flacon est entreposé dans le local à déchets radioactifs pendant 12 périodes physiques. Quelle est alors l'activité, en kBq, restant dans le flacon ?
- La solution de thallium 201 reçue le jeudi à 10 h contient du thallium 202 qui est une impureté radionucléidique dont l'activité est égale à 0,5% de celle du thallium 201. La solution ne peut plus être injectée lorsque le rapport de l'activité du thallium 202 sur celle du thallium 201 devient supérieur à 2%. Au bout de combien de jours la solution de thallium 201 n'est plus utilisable ?
- La période biologique du thallium 201 est $T_{\text{biol}} = 10$ j. Calculer sa période effective.

Proposition de réponse

- a) Si l'activité le lundi matin à 10 h est $A = 296$ MBq, l'activité A_0 le jeudi (matin à 10 h) précédent (soit 96 h auparavant) est : $A_0 = A \cdot e^{t \frac{\ln 2}{T}} = 296 \cdot e^{96 \frac{\ln 2}{73}} = 736$ MBq

Cette activité est **suffisante** pour réaliser 6 scintigraphies en injectant 110 MBq par patient.

- b) L'activité résiduelle en thallium 201 dans le flacon le jeudi à 10 h est $736 - 660 = 76$ MBq.

- c) L'activité restant dans le flacon après 12 périodes physiques est : $76 / 2^{12} = 19$ kBq.

- d) La loi de décroissance radioactive s'écrit $A_1 = A_{01} \cdot e^{-t \frac{\ln 2}{T_1}}$ pour le thallium 201 et $A_2 = A_{02} \cdot e^{-t \frac{\ln 2}{T_2}}$ pour le thallium 202. En faisant le rapport, on obtient :

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{A_{02}}{A_{01}} \cdot \left(e^{-t \cdot \ln 2 \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} \right) \quad \text{soit} \quad t = - \frac{\ln \left(\frac{A_2 / A_1}{A_{02} / A_{01}} \right)}{(\ln 2) \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} = - \frac{\ln \left(\frac{0,02}{0,005} \right)}{(\ln 2) \cdot \left(\frac{1}{294} - \frac{1}{73} \right)} = 194 \text{ h} = 8,1 \text{ j}$$

- e) $\frac{1}{T_{\text{eff}}} = \frac{1}{T_{\text{phy}}} + \frac{1}{T_{\text{biol}}}$ soit $T_{\text{eff}} = \left(\frac{1}{T_{\text{phy}}} + \frac{1}{T_{\text{biol}}} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{73} + \frac{1}{10 \times 24} \right)^{-1} = 56 \text{ h}$