

Enoncé

Le lutécium-177 (^{177}Lu) est un radionucléide émetteur de particules bêta moins (β^-). Des rayonnements gamma sont également émis lors de cette décroissance, principalement de 113 keV et 208 keV.

La période physique du ^{177}Lu est de 6,647 jours.

Cet isotope peut être utilisé pour le marquage de l'antigène membranaire spécifique de la prostate (PSMA) pour former du [^{177}Lu]-PSMA, utilisé dans le traitement par radiothérapie métabolique des carcinomes prostatiques.

Données :

- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Équivalent énergétique de l'unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 1 \text{ uma} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$
- $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- W_T facteur de pondération tissulaire de la prostate (à laquelle la tumeur sera ici assimilée) = 0,01
- W_R facteur de pondération lié aux rayonnements β^- , β^+ et X = 1
- μ : coefficient d'atténuation linéique du plexiglas = $5,35 \text{ cm}^{-1}$
- Numéro atomique de quelques éléments :

Z	69	70	71	72	73
Symbole	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta
Nom	Thulium	Ytterbium	Lutécium	Hafnium	Tantale
Masse atomique (u)	168,93421	173,93886	176,94376	176,94323	179,94572

Questions

QUESTION N° 1 :

Écrire l'équation de désintégration par émission β^- du lutécium-177.

Identifier la (les) particule(s) émise(s), ainsi que le noyau fils en précisant son symbole, son numéro atomique et son nombre de masse.

Proposition de réponse



Lors de la désintégration du lutécium-177, on observe une émission d'une particule β^- . Cette réaction due à un excès de neutrons est isobarique (conservation du nombre de masse) et entraîne l'augmentation du nombre de protons 71 à 72) et l'émission d'un antineutrino électronique.

Le noyau fils est un atome d'hafnium ($A = 177$, $Z = 72$).

QUESTION N° 2 :

Calculer l'énergie cinétique maximale (en MeV) emportée par le rayonnement β^- .

EPREUVE D'EXERCICE D'APPLICATION

Exercice N° 5 (40 points)

Proposition de réponse

$$E_{\beta_{\max}} = (M_{177_{71}\text{Lu}} - M_{177_{72}\text{Hf}}) \cdot c^2 = (176,94376 - 176,94323) \times 931,5 = 0,494 \text{ MeV}$$

QUESTION N° 3 :

Afin de réaliser le radiomarquage du PSMA, on dispose d'une solution de 9,5 GBq de lutécium-177 d'activité volumique 40 GBq/mL, dans de l'acide chlorhydrique 0,04 M.

- Calculer la masse totale de lutécium-177 présente dans le flacon
- Calculer le volume total de solution dans le flacon
- Calculer le pH de la solution de lutécium-177
- Calculer l'activité en [¹⁷⁷Lu]-PSMA obtenue, sachant que le rendement de marquage, tenant compte de la décroissance, est de 80 %.

Proposition de réponse

- a.
- $$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$
- $T = 6,647 \text{ jours} = 574\,300 \text{ s}$; $\lambda = 1,207 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$
- $A = \lambda \cdot N$ (A : activité en Bq ; λ : constante radioactive en s^{-1} ; N : nombre de noyaux)
- $N = 0,79 \cdot 10^{16}$ noyaux de lutécium-177
- $n = N / N_{\text{avogadro}} = 0,131 \cdot 10^{-7} \text{ mol}$ de lutécium-177
- $m = n \cdot M = 0,131 \cdot 10^{-7} \times 177 = 23,13 \cdot 10^{-7} \text{ g}$ soit 2,318 μg de lutécium-177
- b.
- Activité volumique = Activité / Volume
- Donc Volume = Activité / activité volumique = 9,5 / 40 = 0,2375 mL
- c.
- $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] = -\log_{10}(0,04) = 1,4$
- d.
- $9,5 \times 0,80 = 7,6 \text{ GBq}$

QUESTION N° 4 :

Cette solution de [¹⁷⁷Lu]-PSMA est ensuite immédiatement formulée pour injection (solution pour perfusion), calibrée au lundi 7 juin 2021 à 12 h, dans un volume total de 20 mL.

Calculer l'activité volumique de la solution pour perfusion à la date et l'heure de calibration.

Proposition de réponse

Activité volumique = Activité / Volume

EPREUVE D'EXERCICE D'APPLICATION

Exercice N° 5 (40 points)

$$= 7\,600 \text{ MBq} / 20 \text{ mL} = 380 \text{ MBq/mL}$$

QUESTION N° 5 :

Dans le cadre de la prise en charge thérapeutique de son cancer de la prostate, cette solution de [^{177}Lu]-PSMA est perfusée à un patient le mardi 8 juin 2021 à 14 h.

Quelle activité lui sera administrée ?

Proposition de réponse

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = 7\,600 \times e^{-1,207 \cdot 10^{-6} \times 26 \times 3\,600} = 7\,600 \times 0,893 = 6\,787 \text{ MBq}$$

QUESTION N° 6 :

Suite à cette administration de [^{177}Lu]-PSMA, l'énergie absorbée par la tumeur (E_{Ab}), issue du rayonnement β^- , est égale à $1,25 \cdot 10^{12}$ MeV (rayonnement β^- principal).

Sachant que la tumeur de ce patient pèse environ 10 g, quelle est la dose absorbée à la tumeur ?

Proposition de réponse

$$\text{Dose absorbée : } D = E_{Ab} / m$$

Avec D en Gray ou J/kg

$$E_{Ab} \text{ en Joules (1 eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J)}$$

m en kg

$$D = (1,25 \cdot 10^{18} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) / 10 \cdot 10^{-3} = 20 \text{ Gy}$$

QUESTION N° 7 :

Dans le cadre de la prise en charge de son carcinome prostatique, ce patient reçoit un total de 6 cycles de traitement par [^{177}Lu]-PSMA, tels que celui décrit ci-dessus. Il bénéficie par ailleurs d'une imagerie TEP à la [^{18}F]-Fluorocholine (dose efficace = 12 mSv par examen), de 2 autres examens TEP au [^{68}Ga]-PSMA (dose efficace = 11,5 mSv par examen), d'un scanner corps entier (dose efficace = 15 mSv par examen), et de 2 IRM.

Déterminer la dose efficace totale correspondant au détriment global pour ce patient, dans le cadre de sa prise en charge.

Proposition de réponse

$$[^{177}\text{Lu}]\text{-PSMA : Dose absorbée} = 20 \text{ Gy par cycle (20} \times 6 = 120 \text{ Gy au total)}$$

$$\text{Dose équivalente (} W_R = 1) = 120 \text{ Sv}$$

$$\text{Dose efficace} = \text{Dose équivalente} \times W_T = 120 \times 0,01 = 1,2 \text{ Sv}$$

A cela on ajoute 1 x 12 mSv ([^{18}F]-Fluorocholine) + 2 x 11,5 mSv ([^{68}Ga]-PSMA) + 1 x 15 mSv (scanner corps entier)

$$\text{Soit au total} = 1,25 \text{ Sv}$$

EPREUVE D'EXERCICE D'APPLICATION**Exercice N° 5 (40 points)****QUESTION N° 8 :**

Calculer l'épaisseur d'un écran de plexiglas nécessaire pour réduire d'un facteur 100 le débit de dose d'exposition du personnel lors de la perfusion.

Proposition de réponse

I : nombre de rayons émergents

I_0 : nombre de rayons incidents

x : épaisseur de l'écran (cm)

μ : coefficient d'atténuation linéique (cm^{-1})

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

$$I = I_0 / 100 = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

$$100 = e^{\mu x}$$

$$\ln(100) = \mu x$$

$$x = \ln(100) / \mu = 0,86 \text{ cm}$$