

---

## PROBLEME DE RADIOACTIVITE

### La curiethérapie avec de l'iode 125

---

La curiethérapie est une technique de radiothérapie où les radiations sont placées à l'intérieur ou à côté de la zone à traiter. Elle est couramment utilisée comme un traitement efficace pour soigner le cancer du col de l'utérus, de la prostate, du sein ou de la peau. Pour traiter le cancer de la prostate une source d'iode 125 est souvent utilisée, qui se désintègre par capture électronique dans un état excité du tellure 125. A son tour, celui-ci se désintègre par émission gamma pour revenir dans son état fondamental.

Différente de la radiothérapie externe, où les rayons à haute énergie sont dirigés sur la tumeur à partir de l'extérieur du corps, la curiethérapie implique le positionnement précis des sources de rayonnements directement sur le site de la tumeur cancéreuse. Une caractéristique importante de la curiethérapie est que l'irradiation affecte seulement une zone très localisée autour des sources de rayonnement. Il y a donc une réduction de l'exposition aux radiations des tissus sains à proximité de ces sources de rayonnement.

---

Le problème comporte trois parties qui peuvent être traitées de façon indépendante.

Cette copie sera agrafée à la feuille d'examen. Si les cadres ne sont pas assez grands, vous pourrez compléter votre réponse sur la feuille d'examen.

#### Données:

- Nombre d'Avogadro:  $N_{AV} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Volume d'une sphère de rayon  $R$ :  $\frac{4}{3}\pi R^3$

Partie I : 7 pts

Partie II : 6 pts

Partie III : 14 pts

Note : Nombre de points  $\times \frac{20}{27}$

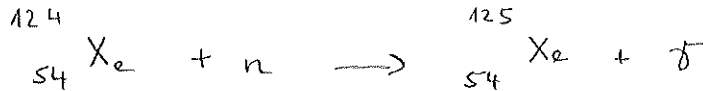
7 pts

## Première partie: production et désintégration de l'iode 125

L'iode 125 est produit aux réacteurs et est disponible en grandes quantités.

1) D'abord xenon 125 est produit par irradiation d'un gaz de xenon qui contient d'environ 1% xenon 124 ( $^{124}_{54}\text{Xe}$ ) avec des neutrons du réacteur:  $^{124}\text{Xe}(n, \gamma)^{125}\text{Xe}$ . Écrire la réaction dans sa forme habituelle ( $A + B \rightarrow C + D$ ).

1 pt



2) Ensuite, le xenon 125 se désintègre en iode 125 par capture électronique. Décrire rapidement le processus de capture électronique.

1 pt

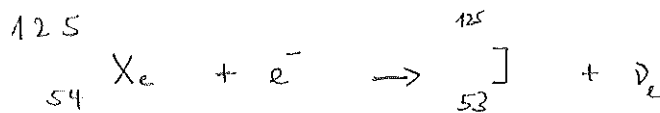
Un  $e^-$  du cortège électronique est capturé par le noyau et un proton se transforme en neutron: il y a émission d'un neutrino électronique

La capture électronique permet aux noyaux trop riches en protons de se rapprocher de la ligne de stabilité.

C'est un processus qui peut rentrer en compétition avec la désintégration  $\beta^+$ .

3) Écrire la réaction de désintégration du xenon 125 en iode. On indiquera le numéro atomique ( $Z$ ) ainsi que le nombre total de protons et de neutrons ( $A = Z + N$ ) du iode.

1 pt

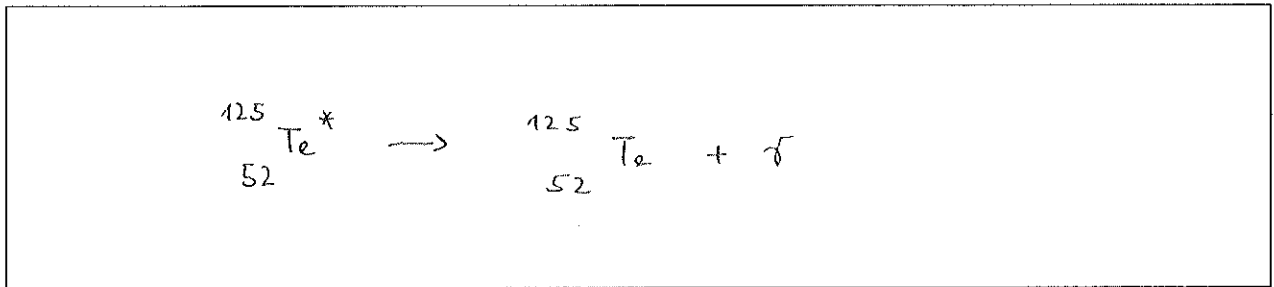


$$A = 125 \quad ; \quad Z = 53$$

0,5 pts

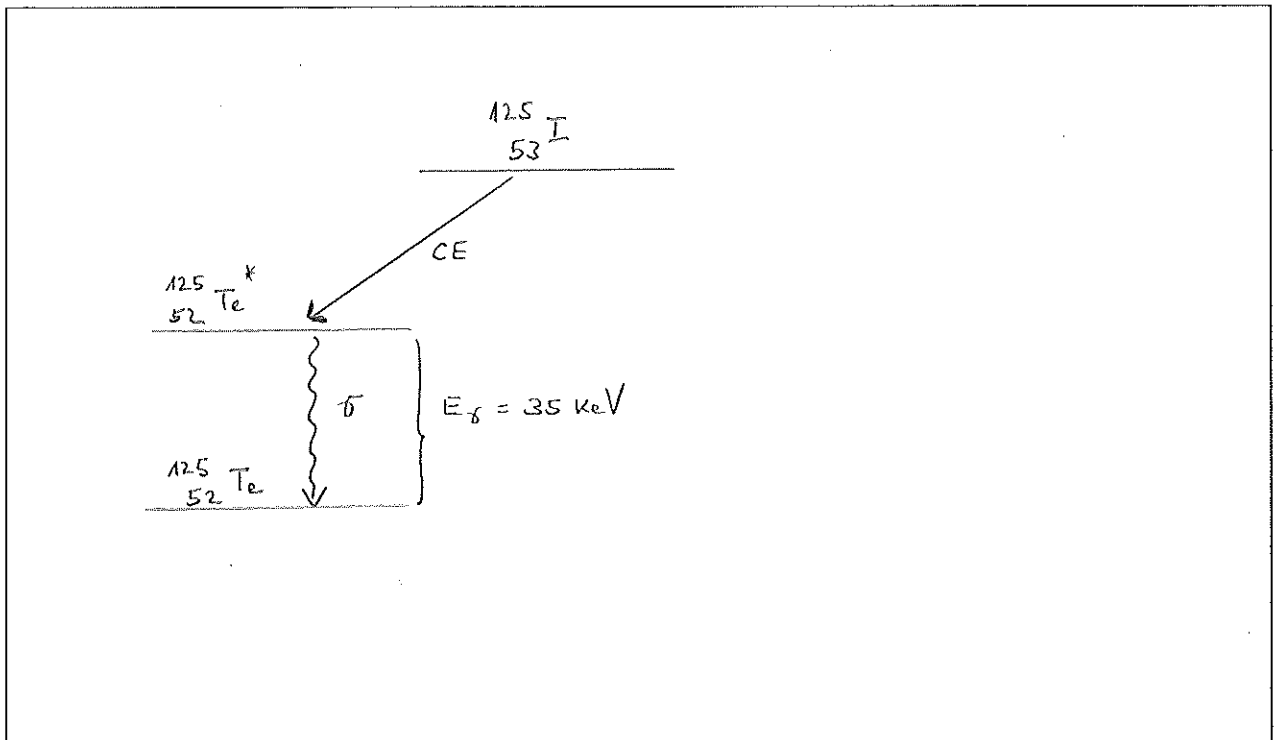
L'iode 125 se désintègre par capture électronique vers un état excité à 35 keV du tellure ( $Z = 52$ ) que l'on notera  $\text{Te}^*$ .

4) Écrire la réaction de désintégration gamma du tellure excité vers son état fondamental.



1 pt

5) Faites un schéma représentant sur la même figure la désintégration de l'iode 125 en tellure excité, puis du tellure excité au tellure dans son état fondamental. Indiquer tous les numéros atomiques ( $Z$ ) et les nombres de protons et de neutrons ( $A$ ) ainsi que l'énergie  $E_\gamma$  du photon.



1 pt

1 pt

$E_\gamma: 0,5 pt$

6 pts

## Deuxième partie: caractéristiques de la source

La source utilisée contient uniquement de l'iode 125. Sa masse est  $m_{\text{source}} = 2,5 \mu\text{g}$ .

6) Calculer le nombre de noyaux initialement présents dans la source, sachant que la masse molaire de l'iode 125 est de  $125 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

$$m_{\text{source}} = N \cdot m_{\text{noyau}}, \quad m_{\text{noyau}} = \frac{M}{N_{\text{AV}}} \quad \text{ou} \quad M = 125 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$N_{\text{AV}} = 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$$

1 pt

$$\Rightarrow N = \frac{m_{\text{source}}}{M} N_{\text{AV}} = \frac{2,5 \mu\text{g}}{125 \text{ g/mol}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} = \underline{1,2 \cdot 10^{16}}$$

La constante de désintégration radioactive de l'iode 125 est  $\lambda = 4,86 \times 10^{-4} \text{ h}^{-1}$ .

7) Calculer la valeur de la période  $T_{1/2}$  en jours.

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{4,86 \times 10^{-4}} \text{ h} = 1,426 \times 10^3 \text{ h}$$

$$= \underline{59,4 \text{ j}}$$

1 pt

8) Quel est l'unité S.I. de l'activité? Déterminer l'activité initiale  $a_0$  de la source en unités S.I.

Unité S.I. : 1 Bq = 1 désintégration par seconde

$$a_0 = \lambda N_0 \quad , \quad \text{avec } N_0 = 1,2 \times 10^{16} \quad [\text{voir 6)]}$$

$$= 4,86 \times 10^{-4} \frac{1}{h} \quad 1,2 \times 10^{16} = 5,832 \times 10^{12} \frac{1}{h} = 1,62 \times 10^9 \frac{1}{s} \\ = 1,62 \times 10^9 \text{ Bq}$$

9) Sachant que la durée du traitement est de 3 jours, montrer que la variation de l'activité de la source est négligeable pendant ce temps.

$$a(t) = a_0 e^{-\lambda t} = a_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}}$$

$$\frac{a(3j)}{a_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{3j/59,4j} \approx 0,97$$

$\Rightarrow$  L'activité varie par 3 pourcent pendant les 3 jours.

On dispose d'une source dont l'activité est supposée constante au cours du temps.

10) Montrer que le nombre de photons émis par seconde est de  $1,6 \times 10^9$  photons par seconde.

$$a \approx a_0 = 1,6 \times 10^9 \text{ Bq}$$

$\Rightarrow$  Il y a  $1,6 \times 10^9$  intégrations par seconde.

Chaque intégration est accompagnée d'une photon de  $E_\gamma = 35 \text{ keV}$ .

$\Rightarrow$  Le nombre de photons émis par seconde est  $1,6 \times 10^9$ .

## Troisième partie: interaction des photons et dose dans la prostate

La source étudiée est placée au centre de la tumeur cancéreuse. On assimile la tumeur à une sphère de rayon  $r = 2$  cm. Pour des photons de 35 keV, la longueur de demi-atténuation dans les tissus humains est  $x_{1/2} = 1$  cm. On admet que la source d'iode est ponctuelle et qu'elle est placée au centre de la tumeur. La source émet, de manière isotrope,  $N_0 = 1,6 \times 10^9$  photons par seconde.

11) Quel est le mode d'interaction dominant pour des photons de 35 keV dans une cellule humaine ou dans de l'eau.

1 pt

L'effet photoélectrique

12) Quel est le nombre de photons sortant  $N_{\text{sort}}$  de la tumeur par seconde? Combien de photons sont donc absorbés dans la tumeur par seconde?

1 pt

$$N(x) = N_0 e^{-\mu x} \quad \text{avec} \quad \mu = \frac{\ln 2}{x_{1/2}}$$

$$= N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{x/x_{1/2}}$$

$$N_{\text{sort}} = N(2 \text{ cm}) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{2 \text{ cm}/1 \text{ cm}} = \frac{1}{4} N_0 = 0,4 \times 10^9 \text{ photons sortent par seconde.}$$

1 pt

$$\frac{3}{4} N_0 = 1,2 \times 10^9 \text{ photons sont absorbés dans la tumeur par seconde.}$$

13) La densité du tissu tumoral est  $\rho = 1 \text{ g.cm}^{-3}$ . Calculer la masse de la tumeur, c'est à dire la masse de la sphère de  $r = 2 \text{ cm}$  de rayon.

$$m = \rho \times V \quad \text{avec } V = \frac{4}{3} \pi r^3 \approx 33,5 \text{ cm}^3$$

$$= 33,5 \text{ g}$$

1pt

14) Quel est l'unité S.I. de la dose absorbée  $D$ ?

$$1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

1pt

15) Calculer la dose absorbée  $D$  dans la tumeur pendant un temps d'exposition égal à 3 jours.

$$1,2 \times 10^9 \quad : \quad \text{photons absorbés par seconde}$$

$$E_\gamma = 35 \text{ keV}$$

Énergie absorbée pendant 3 jours :

$$E = 35 \text{ keV} \times 1,2 \times 10^9 \frac{1}{\text{s}} \times 3 \text{ j}$$

$$= 35 \text{ keV} \times 1,2 \times 10^9 \frac{1}{\text{s}} \times 3 \times 24 \times 3600 \text{ s}$$

$$= 10\,886\,400 \times 10^9 \text{ keV}$$

$$= 1,08864 \times 10^{19} \text{ eV} \approx 1,74 \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$D = \frac{1,74 \text{ J}}{33,5 \times 10^{-3} \text{ kg}} = 51,9 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \underline{\underline{51,9 \text{ Gy}}}$$

1pt

1pt

16) En déduire l'équivalent de dose  $H$  en unités S.I., sachant que le facteur de qualité pour les photons de 35 keV est  $Q_R = 1$ .

1 pt

$$H = D \times \underset{1}{Q_R} = \underline{\underline{51,9 \text{ Sv}}}$$

On considère maintenant une sphère de tissus sains, entourant la tumeur. Le rayon de cette sphère est 10 cm, et correspond à une masse de 4,155 kg. =  $4188 - 33,5 \text{ g}$

17) Calculer combien de photons sortant de la petite sphère de rayon 2 cm vont interagir dans la grande sphère de 10 cm par seconde et pendant les 3 jours.

1 pt

$$N(2 \text{ cm}) = \frac{1}{4} N_0, \quad N(10 \text{ cm}) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{10} = \frac{1}{1024} N_0$$

$$N_{\text{abs}} = N(2 \text{ cm}) - N(10 \text{ cm}) = 0,249 N_0 \approx 0,358 \times 10^9 \frac{1}{s} \Rightarrow \text{presque tous les photons vont interagir : } 99,6\%$$

$$\text{pendant 3 jours : } N_{\text{abs}} = 0,358 \times 10^9 \frac{1}{s} \times 3 \times 24 \times 3600 \text{ s}$$

$$\approx 1 \times 10^{14}$$



18) En utilisant le resultat de la question précédente, calculer la dose absorbée par les tissus sains. (pendant 3 jours)

$$D = \frac{10^{14} \times 35 \text{ keV}}{4,155 \text{ kg}} = \frac{10^{17} \times 35 \times 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}}{4,155 \text{ kg}}$$
$$= 0,13 \text{ Gy}$$

1 pt

19) Conclure sur l'utilité de la curiethérapie.

La dose absorbée par les tissus sains est environ 2,5 pour mille de la dose absorbée par la tumeur.

On peut donc traiter le cancer sans trop endommager les tissus sains.

1 pt

20) Citez trois méthodes pour se protéger de la radioactivité.

Augmenter la distance.

Utiliser un écran.

Reduire le temps d'exposition.

1 pt

1 pt

1 pt

