Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

Bac 2025 Septembre (Secours) Métropole
Exercice 3 - Utilisation médicale du technétium (6 points)
Correction © https://www.labolycee.org

1. Production de technétium

Les noyaux de technétium 99 s'obtiennent par désintégration de type β des noyaux de molybdène 99, notés ^{99}Mo.
Les services de médecine nucléaire reçoivent des mélanges de noyaux molybdène 99 / technétium 99, ils bénéficient ainsi d'une source en technétium 99 pour quelques jours seulement.

➢ temps de demi-vie :

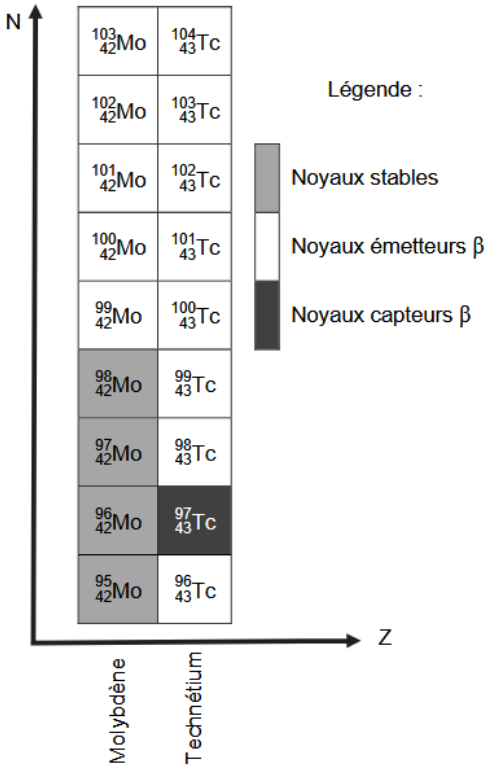
Noyau de molybdène 99	Noyau de technétium 99
66 h pour la désintégration de type β	6 h pour l'émission de rayonnement gamma (γ)

Q1.Donner la composition du noyau de molybdène 99.

Le noyau de molybdène 99 est constitué de 42 protons et (99-42) soit 57 neutrons.

Q2. Rappeler la définition des termes « noyaux isotopes ». En déduire, à l'aide du diagramme (N,Z), deux isotopes stables du molybdène 99.

Des noyaux isotopes possèdent le même nombre de protons mais un nombre de neutrons / nucléons différent (ils appartiennent au même élément chimique).
Le diagramme (N,Z), indique que $^{95}_{42}$Mo , $^{96}_{42}$Mo $^{97}_{42}$Mo ,et $^{98}_{42}$Mo sont des isotopes stables du molybdène 99 *(seuls deux sont attendus).*



Q3. Écrire l'équation de la désintégration des noyaux de molybdène 99 en noyaux de technétium 99. Donner le nom de la particule émise lors de cette désintégration.

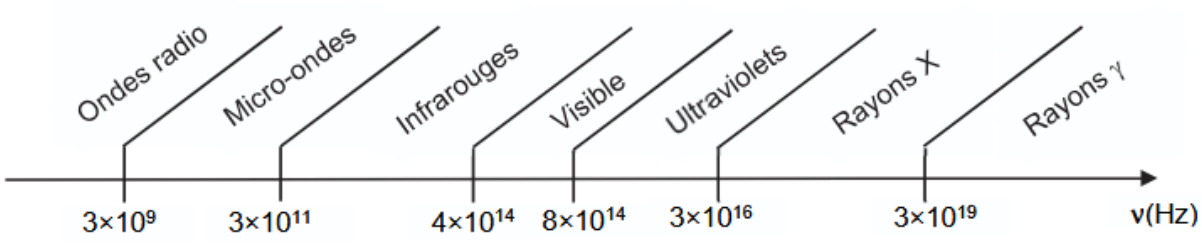
L'équation de la désintégration des noyaux de molybdène 99 en noyaux de technétium 99 est $^{99}_{42}\text{Mo} \rightarrow {}^{99}_{43}\text{Tc} + {}^{0}_{-1}\text{e}$ (en respectant la loi de conservation du nombre de charges et la loi de conservation du nombre de nucléons).
La particule $^{0}_{-1}$e émise lors de cette désintégration est un **électron**.

2. Utilisation médicale de technétium en scintigraphie

Lors d'une scintigraphie, on injecte au patient une solution contenant une molécule marquée au technétium $^{99}Tc^*$ qui se fixe sur les os en moins de deux heures. Après l'injection de la solution, le patient attend donc deux à trois heures avant que les clichés soient réalisés à l'aide d'une caméra sensible aux rayons gamma, appelée gamma-caméra.

Données :

- constante de Planck : $h = 6{,}63\times10^{-34}$ J·s ;
- 1 eV = $1{,}60\times10^{-19}$ J ;
- énergie E d'un photon associé à un rayonnement de fréquence ν : $E = h\cdot\nu$;
- gamme de fréquences ν des différents types de rayonnements électromagnétiques :



- le technétium $^{99}Tc^*$ émet principalement des photons d'énergie : E_{Tc} = 141 keV ;
- le technétium $^{99}Tc^*$ a une demi-vie de 6 h ;
- l'activité de la quantité injectée de technétium $^{99}Tc^*$ au patient à la date $t = 0$, notée A_0, est de l'ordre de 700 MBq pour un patient dont la masse est 80 kg;
- on rappelle l'équation différentielle vérifiée par le nombre de noyaux radioactifs $N(t)$ d'un échantillon à l'instant t :

$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda\cdot N(t) = 0$$

λ étant la constante radioactive du technétium $^{99}Tc^*$;

- l'activité d'une source radioactive, $A(t)$, s'exprime en becquerel (Bq) et a pour expression :

$$A(t) = \lambda\cdot N(t)$$

Q4. Après avoir rappelé la définition du temps de demi-vie, justifier que les services de médecine nucléaire bénéficient d'une source de technétium 99 pour quelques jours seulement.

Le temps de demi-vie d'un échantillon de noyaux radioactifs est égal à la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon se désintègrent.

Les services de médecine nucléaire reçoivent des mélanges de noyaux molybdène 99 / technétium 99. Le molybdène se désintègre avec une demi-vie de 66 h, il se transforme en technétium qui lui se désintègre avec une demi-vie de 6 h.

Ainsi au bout de 66h (environ 3 jours), il ne reste plus que la moitié du nombre initial de noyaux de molybdène source de technétium.

Les services de médecine nucléaire ne bénéficient d'une source de technétium 99 que pour quelques jours seulement.

Q5. Vérifier que l'énergie des photons émis par le $^{99}Tc^*$ est compatible avec l'utilisation d'une gamma-caméra pour réaliser les clichés lors d'une scintigraphie.

D'après la relation de Planck-Einstein : l'énergie d'un photon est : $E = h\cdot\nu \Leftrightarrow \nu = \frac{E}{h}$

La fréquence correspondant aux photons émis par le technétium $^{99}Tc^*$ est : $\nu_{Tc} = \frac{E_{Tc}}{h}$

Soit $\nu_{Tc} = \frac{141\times10^3\times1{,}60\times10^{-19}}{6{,}63\times10^{-34}} = 3{,}40\times10^{19}$Hz ce qui est supérieur à 3×10^{19}Hz : il s'agit bien de rayons gamma nécessaires à une scintigraphie.

Q6. Justifier l'utilisation d'un protège-seringue possédant un blindage à base de verre au plomb pour la réalisation de l'injection de la solution au patient.

L'utilisation d'un protège-seringue possédant un blindage à base de verre au plomb pour la réalisation de l'injection de la solution au patient est nécessaire pour protéger le personnel soignant des rayons gamma qui sont des rayonnements ionisants (pouvant provoquer des lésions cutanées, des mutations de l'ADN des cellules et entrainer des cancers).

Q7. Résoudre l'équation différentielle afin d'exprimer le nombre de noyaux radioactifs de technétium ^{99}Tc* à l'instant *t*, noté *N*(*t*), en fonction du nombre initial de noyaux radioactifs à l'instant *t* = 0, noté N_0 , et de la constante radioactive λ.

L'équation différentielle proposée est du type $y' = a \cdot y$ avec $y = N(t)$ et $a = -\lambda$

Les solutions de cette équation différentielle du premier ordre sont du type : $y = K \cdot e^{a \cdot t}$

soit $N(t) = K \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

En tenant compte des conditions initiales, à $t = 0$, N(t) = N_0, alors $N_0 = K \cdot e^{-\lambda \times 0} = K$.

La solution peut donc s'écrire : $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ (C'est la loi de décroissance radioactive).

Q8. Montrer que l'expression de l'activité *A*(*t*) du technétium ^{99}Tc* en fonction de l'activité initiale A_0 injectée au patient et de la constante radioactive λ s'écrit $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$.

D'après l'énoncé, $A(t) = \lambda \cdot N(t)$ donc $A(t) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ avec $A_0 = \lambda \cdot N_0$

Q9. Montrer que la constante radioactive λ et le temps de demi-vie t1/2 sont reliés par la relation : $\lambda = \dfrac{\ln(2)}{t_{1/2}}$.

D'après la définition de la demi-vie : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2}$

D'après la loi de décroissance radioactive : $N(t_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$

Ainsi : $N(t_{1/2}) = \dfrac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$

soit $\dfrac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot t_{1/2}}$

$\ln\left(\dfrac{1}{2}\right) = \ln(e^{-\lambda \cdot t_{1/2}})$

$\ln(1) - \ln(2) = -\lambda \cdot t_{1/2}$

soit $\lambda = \dfrac{\ln(2)}{t_{1/2}}$

Tant que l'activité du technétium ^{99}Tc* dans le corps du patient est supérieure à 3 % de l'activité initiale injectée, des mesures de précaution doivent être respectées par le patient (rester éloigné des femmes enceintes et des jeunes enfants, nettoyer soigneusement les toilettes après chaque utilisation, etc.).

Q10. Déterminer la durée pendant laquelle le patient doit respecter ces précautions en supposant que la diminution de l'activité du technétium $^{99}Tc^*$ dans le corps du patient n'est due qu'à la décroissance radioactive.

On cherche la durée au bout de laquelle l'activité vaut 3 % de sa valeur initiale :

$A(t) = 0{,}03 \cdot A_0$

Or $A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

$0{,}03 \cdot A_0 = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

$0{,}03 = e^{-\lambda \cdot t}$

$\ln(0{,}03) = -\lambda \cdot t$

Donc $t = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln(0{,}03)$

d'après Q9. $\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$

$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \cdot \ln(0{,}03)$

Donc $t = -\frac{6\ \text{h}}{\ln(2)} \times \ln(0{,}03) = 30\ \text{h}$.

3. Pistes pratiques pour gérer les périodes de pénurie de technétium 99

Le technétium $^{99}Tc^*$ est obtenu par désintégration du molybdène 99 (^{99}Mo) issu de réactions de fission dans les réacteurs nucléaires. La fermeture progressive de certains réacteurs nucléaires entraine une diminution de la production mondiale en molybdène 99.

Pour les scintigraphies cardiaques, il est possible d'utiliser des traceurs marqués au thallium 201 ($^{201}Tl^*$) à la place du technétium 99 ($^{99}Tc^*$).

Donnée :

- tableau comparatif des principales caractéristiques de deux radioéléments :

Noyau	Thallium 201	Technétium 99
Symbole	$^{201}Tl^*$	$^{99}Tc^*$
Temps de demi-vie	3,04 jours pour le rayonnement γ d'énergie 167 keV	6 h pour le rayonnement γ d'énergie 141 keV
Coût d'un examen cardiaque	0,8267 €/MBq	0,0378 €/MBq
Nombre d'injections lors de l'examen	1	2

Q11. Identifier, en justifiant, un avantage et un inconvénient au remplacement du technétium 99 ($^{99}Tc^*$) par du thallium 201 ($^{201}Tl^*$).

Avantages du remplacement du $^{99}Tc^*$ par du $^{201}Tl^*$:

- Une seule injection nécessaire.

Inconvénients du remplacement du $^{99}Tc^*$ par du $^{201}Tl^*$:

- Demi-vie plus élevée donc durée de précaution largement augmentée,
- Rayonnement plus énergétique donc à priori plus dangereux,
- Coût d'un examen plus élevé (579 € contre 26,5 €).

Merci de nous signaler la présence d'éventuelles erreurs labolycee@labolycee.org

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.