

UE11 - Biophysique

Annales Classées

INTERACTION DES PARTICULES CHARGÉES
AVEC LA MATIÈRE

SUJET

Énoncé commun aux questions 14 à 16.

Un radioélément (X^*) de période physique 6,9 jours émet des rayonnements alpha d'énergie $E = 5 \text{ MeV}$ qui ont un parcours maximal dans les milieux biologiques de 40 microns. On traite une tumeur de 100 mg avec un radiopharmaceutique marqué avec cet émetteur X^* (RPM- X^*) On supposera que, juste après l'administration, la tumeur capte 50 % de l'activité injectée qui se fixe de façon homogène dans la tumeur puis que la radioactivité ne disparaît que par décroissance physique.

On se propose de calculer la dose absorbée déposée au cours du temps dans cette tumeur après injection d'une activité initiale de 100 MBq de RPM- X^* . L'énergie moyenne de création d'une paire d'ions dans l'eau est de 32 eV.

Question 14. Dans quel intervalle se trouve la distance moyenne entre deux paires d'ions générées par les particules alpha ? (Une seule proposition exacte).

- A. $< 0,20 \text{ nm}$
- B. $0,20 - 0,40 \text{ nm}$
- C. $0,40 - 0,60 \text{ nm}$
- D. $0,60 - 0,80 \text{ nm}$
- E. $> 0,80 \text{ nm}$

Question 15. Dans quel intervalle de valeurs est le nombre de noyaux radioactifs présents dans la tumeur sous forme de RPM- X^* ? (Une seule proposition exacte)

- A. 4,0 à $5,2 \cdot 10^{13}$ noyaux
- B. 3,0 à $6,2 \cdot 10^{10}$ noyaux
- C. 5,9 à $7,1 \cdot 10^{13}$ noyaux
- D. 1,1 à $2,4 \cdot 10^{14}$ noyaux
- E. 3,8 à $5,2 \cdot 10^{11}$ noyaux

Question 16. Dans quel intervalle est compris le débit de dose absorbée (Gy / s) par la tumeur juste après l'administration de l'activité thérapeutique ? (Une seule proposition exacte)

- A. 0,03 à 0,06 Gy/s
- B. 0,2 à 0,6 Gy/s
- C. 1,5 à 3,2 Gy/s
- D. 5,2 à 7,4 Gy/s
- E. 9,1 à 10,2 Gy/s

2022 Session 1

QCM 15. L'Actinium 225 (^{225}Ac , $Z=89$) est un émetteur de particules alpha de période physique 10 heures, utilisé en radiothérapie interne pour traiter les métastases des cancers de prostate, après marquage sur du PSMA (Prostate Specific Membran Antigen).

L'énergie cinétique communiquée à la particule alpha lors de la transition de l'Actinium-225 est mesurée à 5,9 MeV. Le parcours moyen des particules alpha dans les tissus est de 59 microns.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (ou sont) exacte(s) ?

- A. l'énergie de la transition alpha de l' Actinium-225 est comprise dans l'intervalle 5,75-5,85 MeV
- B. la particule alpha s'arrête suite à un grand nombre d'interactions avec les noyaux du milieu traversé (phénomène de Bragg)
- C. le transfert linéique d'énergie de la particule alpha de l'Actinium-225 est compris dans l'intervalle 90-110 keV / μm
- D. l'activité résiduelle d'une source contenant initialement 20 MBq d'Actinium-225 est d'environ 10 MBq au bout de 5 heures
- E. le noyau fils de l'Actinium est caractérisé par $A = 221$ et $Z = 87$.

QCM 16. On traite par injection intra artérielle hépatique de microsphères d'Yttrium-90 une tumeur hépatique de 100 g. Les sphères d'Yttrium-90 sont embolisées dans l'artère hépatique d'où elles ne peuvent plus migrer. L'Yttrium-90 a les caractéristiques simplifiées suivantes : Energie moyenne par désintégration ($E_{\text{moy/d}}$) = 1 MeV ; période physique : 3 jours ; parcours moyen dans l'eau : 3,8 mm, parcours maximal dans l'eau : 10 mm). La Dose absorbée est reliée aux paramètres physiques selon l'équation très simplifiée :

$\text{DA}(\text{Gy}) = 1,5 * \text{A0}(\text{Bq}) * E_{\text{moy/d}}(\text{J}) * \text{Période Physique}(\text{s}) / \text{Masse tumeur}(\text{kg})$.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (ou sont) exacte(s) chez ce patient ?

- A. la période effective de l'Yttrium-90 est égale à la période physique
- B. la dose absorbée pour 1 GBq injecté est comprise dans l'intervalle 150-170 Gy / GBq
- C. la dose absorbée pour 1 GBq injecté est comprise dans l'intervalle 600-650 Gy / GBq
- D. la dose absorbée pour 1 GBq injecté est comprise dans l'intervalle 360-410 Gy / GBq
- E. la dose particulaire *beta* au foie tumoral est nulle à 12 mm d'une source d'Yttrium-90

QRS 17. La masse d'une cellule humaine est de 2 ng. L'énergie absorbée nécessaire pour produire une ionisation est de 32 eV. On rappelle que $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Quel est le nombre approximatif d'ionisations observables dans une cellule humaine recevant 1 Gray ? (Une seule réponse exacte)

- A. < 1000
- B. 1000 à 10 000
- C. 10^4 à 10^5
- D. 10^5 à 10^6
- E. $> 10^6$

QRS 18. On considère qu'une particule beta-moins émise par un atome d'iode-131, dépose une énergie de 0,20 MeV sur une distance moyenne supposée rectiligne de 800 μm .

L'énergie d'ionisation moyenne de l'eau est de 33 eV.

Quel est le nombre approximatif d'ionisations par mm produites dans un tissu assimilable à de l'eau par une particule beta émise par l'iode-131 ? (Une seule réponse exacte)

- A. < 100 paires d'ions par mm
- B. 100-1000 paires d'ions par mm
- C. 1000 à 10 000 paires d'ions par mm
- D. 10^4 à 10^5 paires d'ions par mm
- E. $> 10^5$ paires d'ions par mm

QCM 19. Parmi les propositions suivantes, concernant les interactions entre les particules chargées et la matière, laquelle (ou lesquelles) est (ou sont) exactes ?

- A. la particule alpha comporte 4 protons
- B. les interactions entre une particule alpha et le milieu traversé se font principalement par interactions coulombiennes avec les électrons des atomes du milieu traversé
- C. le ralentissement des électrons de faible énergie ($< 1 \text{ MeV}$) dans la matière se fait essentiellement par rayonnement de freinage avec le champ des noyaux
- D. le parcours de la particule alpha augmente avec son transfert linéique d'énergie
- E. un transfert d'énergie de 18.6 eV, lors d'une collision entre un proton et un électron d'un atome d'Hydrogène est susceptible de créer une paire d'ions, avec émission d'un électron d'énergie cinétique de 13,6 eV

2021 Session 1

Question n°10

Les particules chargées forment des paires d'ions le long de leur trajectoire, dans un milieu M. Dans ce milieu, des particules alpha de 6 MeV ont un parcours de 30 μm . L'énergie moyenne de formation d'une paire d'ions (W), dans ce milieu M, est de $W = 50 \text{ eV}$. On considère les grandeurs suivantes : TLE ou transfert linéique d'énergie, DLI ou Densité linéique d'ionisations et DMI, distance moyenne entre deux paires d'ions.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (ou sont) exacte(s) ?

- A. La particule α a un TLE de 150 keV / μm
- B. La particule α a un TLE de 200 keV / μm et une DLI de 4000 paires d'ions / μm
- C. La DLI de la particule α augmente fortement en fin de trajectoire
- D. La DMI est de 0,25 nm
- E. L'énergie de la transition α est comprise entre 5.50 et 5.90 MeV

Question n°11

Parmi les propositions suivantes, concernant les particules chargées lourdes, laquelle (ou lesquelles) est (ou sont) exacte(s) ?

- A. La particule α est composée de 4 nucléons
- B. Les interactions entre la particule α et le milieu traversé se font principalement par interactions coulombiennes avec les noyaux du milieu traversé
- C. Le ralentissement de la particule α dans la matière suit une trajectoire grossièrement rectiligne
- D. Le ralentissement de la particule α se fait par émission de photons de freinage lors des collisions avec des électrons du milieu traversé
- E. Un transfert d'énergie de 18,6 eV, lors d'une collision entre une particule chargée lourde et un électron d'un atome d'Hydrogène est susceptible de créer une paire d'ions, avec émission d'un électron d'énergie cinétique de 5 eV

Question n°12

Le tritium ^3H est un émetteur β^- , d'énergie moyenne par désintégration, $E_{\text{moy/d}} : 6 \text{ keV}$. Un technicien est contaminé par ingestion accidentelle d'eau tritiée d'une activité $A_0 = 100 \text{ MBq}$. On considère que l'eau tritiée se dilue instantanément dans tout l'organisme de l'individu de masse $M = 60 \text{ kg}$. L'eau tritiée disparaît par désintégration du Tritium (période physique : 12,3 ans) et élimination urinaire de l'eau (période biologique : 12 jours).

On rappelle que le débit de dose absorbée, $d/dt [DA(t)]$, est donné par la relation: $d/dt [DA(t)] = [E_{\text{moy/d}} * A_0 * \text{Fix}(t)]/M$, où $\text{Fix}(t)$ représente le % de radioactivité fixée à l'instant t , après l'ingestion. On donne $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Parmi les propositions suivantes, concernant cette contamination, laquelle (ou lesquelles) est (ou sont) exacte(s) ?

- A. La période effective de l'eau tritiée dans l'organisme est d'environ 12 jours
- B. L'énergie moyenne par désintégration est comprise dans l'intervalle : $[9,4 \text{ à } 10,2] \cdot 10^{-16} \text{ J}$
- C. Le débit de dose absorbé juste après ingestion est compris dans l'intervalle : $[1,4 \text{ à } 1,8] \text{ nGy/s}$
- D. Dans 4 mois l'activité présente dans le patient sera comprise dans l'intervalle : $[0,9 \text{ à } 1,1] \text{ MBq}$
- E. Dans le cas du Tritium, le ralentissement des particules β^- se fait surtout par freinage avec les noyaux du milieu traversé

Question n°13

La production des rayons X résulte d'une interaction électrons-matière. Un tube est soumis à une tension de ΔV qui permet d'accélérer les électrons de charge q_e et de masse m_e à la vitesse maximale V_{max} . L'énergie de liaison des électrons K du tungstène ($Z=74$) composant l'anode sera estimée selon le modèle de Bohr.

On donne $74^2 = 5476$

Parmi les propositions suivantes, concernant les rayons X, laquelle (ou lesquelles) est (ou sont) exacte(s) ?

- A. La vitesse maximale des électrons impactant l'anode est : $V_{\text{max}} = [2q_e \Delta V / m_e]^2$
- B. Il existe une fréquence maximale des rayons X émis ayant pour valeur $\nu_{\text{max}} = T_{\text{max}}/h$, où T_{max} est l'énergie cinétique maximale des électrons accélérés et h la constante de Planck
- C. Le rayonnement de freinage électronique produit autant de photons de basse énergie que de haute énergie
- D. Un électron accéléré à 200 keV pourra créer une ionisation K avec éjection d'un électron de l'anode, d'énergie comprise dans l'intervalle : $[120 \text{ à } 130] \text{ keV}$
- E. Le compteur Geiger Muller est un détecteur de rayonnements ionisants fonctionnant avec une tension inférieure à 500 Volts permettant une collection de charges proportionnelle à l'énergie du rayonnement

ANNEXE

FORMULAIRE FOURNI EN 2021

VALEURS NUMÉRIQUES ÉVENTUELLEMENT UTILES

Si cela vous apparaît nécessaire dans les calculs, vous pouvez utiliser les valeurs numériques et approximations suivantes :

Nombre d'Avogadro = 6.10^{23}

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Charge élémentaire de l'électron (en valeur absolue) : $1,6.10^{-19} \text{ Coulomb}$

1 électron-volt (eV) = $1,6.10^{-19} \text{ Joule}$

1 u.m.a. (unité de masse atomique) = $1,66.10^{-27} \text{ kg} = 931 \text{ MeV} / c^2$

Constante de Planck : $h = 6,62.10^{-34} \text{ J.s}$

Masse d'un électron = $0,9.10^{-30} \text{ kg} = 0,511 \text{ MeV} / c^2$

Masse d'un proton isolé = 1,007 u.m.a.

Masse d'un neutron isolé = 1,009 u.m.a.

1 Ci = 37 GBq

Enoncé commun aux questions 23 et 24 :

On considère un tube à rayons X dont l'anode est constituée d'une cible de tungstène ($Z=74$). La tension d'alimentation est de 80 kV et l'intensité de 100 mA. L'énergie de liaison des électrons de la couche K du tungstène vaut 70 keV.

Question n°23

Concernant le rayonnement de freinage (**Indiquer la ou les propositions exactes**) :

- A. Il survient lors de l'interaction entre un électron et un noyau atomique.
- B. Pour un faisceau électronique de faible énergie, le pouvoir d'arrêt par collision est supérieure au pouvoir d'arrêt par freinage.
- C. Le spectre du rayonnement de freinage est continu.
- D. Dans le cas d'une cible épaisse, plusieurs interactions successives induisant ce rayonnement peuvent survenir.
- E. Il n'est pas ionisant.

Question n°24

Le spectre en énergie du faisceau de rayons X à la sortie du tube a les caractéristiques suivantes (**Indiquer la ou les propositions exactes**) :

- A. Spectre continu dont les bornes sont 0 et 100 keV
- B. Spectre comprenant une raie de 70 keV
- C. Superposition d'un spectre continu et d'un spectre de raies
- D. Les photons de faible énergie sont absorbés par le tube.
- E. La puissance consommée par le tube correspond majoritairement à l'émission de photons X.

Énoncé commun aux cinq questions suivantes: question 20 à 24 :

Un compteur gamma indique un taux de comptage de 1000 coups par seconde lorsqu'il est placé à 10 cm d'une source de Technétium-99m (exclusivement émetteur de photons gamma d'énergie 140 keV) considérée comme ponctuelle et dont l'activité est de 100 MBq.

Question n°21

La source est placée dans un récipient fermé en Tungstène.

Quel(s) type(s) de rayonnement(s) est (ou sont) susceptible(s) d'être détecté(s) à l'extérieur du récipient?

Cocher la (ou les) proposition(s) vraie(s):

- A. Photons gamma d'énergie 140 keV.
- B. Photons gamma dont l'énergie est inférieure à 140 keV.
- C. Photons d'annihilation.
- D. Électrons.
- E. Aucun rayonnement ne peut être détecté à l'extérieur du récipient.

Question n°25

Quel(s) type(s) de rayonnement(s) est (ou sont) produit(s) lors de l'interaction des électrons avec la matière ?

Cocher la (ou les) proposition(s) vraie(s) :

- A. Photons gamma.
- B. Photons X de freinage.
- C. Photons X de fluorescence.
- D. Électrons de conversion interne.
- E. Électrons Auger.

Question n°27

Un tube à rayons X soumis à une différence de potentiel accélératrice de 60 kV et à un courant anodique de 2 mA, produit un faisceau de photons X de freinage.

Si on augmente l'intensité du courant à 4 mA, qu'observe-t-on?

Indiquer la proposition exacte.

- A. L'énergie maximale des photons émis passe de 2 keV à 4 keV.
- B. L'énergie maximale des photons émis passe de 60 keV à 120 keV.
- C. La puissance rayonnée du faisceau est quadruplée.
- D. La puissance rayonnée du faisceau est doublée.
- E. Aucune des propositions précédentes n'est exacte

Question n°28

Une source radioactive émettrice de rayonnement β^- (bêta moins), d'activité 1 MBq, est placée au centre d'un récipient contenant de l'eau. L'énergie des électrons émis est de 64 keV.

Quelle est la distance totale parcourue par l'ensemble des électrons émis pendant 1 seconde ?

Indiquer la proposition exacte :

- A. 640 m.
- B. 320 m.
- C. 64 m.
- D. 32 m.
- E. Aucune des propositions précédentes n'est exacte

2018

Question n°21

Un photon de 140 keV interagit par effet photo-électrique avec un électron de la couche K du plomb ($Z=82$). Parmi les événements consécutifs au parcours du photoélectron dans la matière, indiquer **la** proposition exacte :

- A. Émission du photoélectron à l'extérieur de la lame de plomb
- B. Émission d'un rayonnement de fluorescence
- C. Émission de photons d'annihilation
- D. Émission de photons gamma
- E. Aucune des propositions précédentes n'est exacte

Énoncé commun aux deux questions suivantes : questions 23 et 24

Un faisceau d'électrons d'énergie cinétique = 454 keV interagit avec une plaque de plomb (masse volumique du plomb : $11,35 \text{ g.cm}^{-3}$).

Question n°23

Indiquer **la** proposition exacte. Le parcours moyen des électrons dans la plaque de plomb est de l'ordre de :

- A. 40 mm
- B. 0,2 mm
- C. 0,04 mm
- D. 0,02 mm
- E. Aucune des propositions précédentes n'est exacte

Question n°24

Indiquer **la ou les** propositions exactes. Durant le parcours des électrons dans le plomb,

- A. Leur distance de pénétration sera supérieure au parcours moyen
- B. Ils subiront des changements de direction par collision
- C. Ils subiront des changements de direction par freinage
- D. Les interactions aboutiront à l'émission d'un rayonnement X de spectre continu
- E. Aucune des propositions précédentes n'est exacte

Question n°25

Un tube à rayons X comporte une anode en Tungstène. La différence de potentiel électrique appliquée entre le filament et l'anode est de 140 kV et l'intensité du courant est de 10 mA. Indiquer **la ou les** propositions exactes :

- A. L'énergie maximale des photons X émis est de 140 keV
- B. L'augmentation de l'intensité du courant permet d'augmenter le nombre de photons émis
- C. La puissance rayonnée par le tube dépend du numéro atomique du matériau constituant l'anode
- D. La perte d'énergie sous forme de chaleur est faible
- E. Aucune des propositions précédentes n'est exacte

2017

Enoncé commun aux questions 27 et 28.

	131I
Période radioactive	8,04 jours
Activité massique	$4,59 \cdot 10^{15} \text{ Bq.g}^{-1}$
Emission(s) principale(s) (rendement d'émission pour 100 désintégrations)	Désintégration β^- $E_{\max} = 606 \text{ keV (89 \%)}$ $E_{\max} = 333 \text{ keV (7 \%)}$ Emission γ $E = 364 \text{ keV (81 \%)}$ $E = 637 \text{ keV (7 \%)}$ $E = 284 \text{ keV (6 \%)}$

[ICRP, 1983 - Browne et Firestone, 1986]

L'iode 131 est un radionucléide utilisé pour le traitement des cancers thyroïdiens différenciés. Ses caractéristiques sont indiquées dans le tableau ci-dessus.

Question n°27

Parmi les propositions suivantes, indiquer **la ou les** propositions exactes :

- A. L'iode 131 est utilisé en thérapie en raison de ses émissions β^- (bêta moins).
- B. Le parcours moyen dans l'eau des électrons émis les plus énergétiques est de l'ordre de 3 mm.
- C. Le parcours moyen dans l'eau des photons gamma émis les moins énergétiques est de l'ordre de 1,4 mm.
- D. La distance de pénétration des électrons émis est de l'ordre de 4 mm.
- E. Le rayonnement émis est détectable à 1 m du patient.

Question n°28

Le rayonnement émis à la sortie d'un tube à rayons X est constitué de :

(Indiquer **la ou les** propositions exactes)

- A. Positons.
- B. Electrons Auger.
- C. Photons gamma.
- D. Photons de freinage.
- E. Photons de fluorescence.

2016

Question n° 24

Les électrons émis dans un tube à rayons X ont une énergie cinétique de 38,6 keV à leur arrivée sur l'anode. Quel est le parcours moyen de ces électrons dans l'anode en tungstène, sachant que la densité du tungstène est 19,3 ? Indiquer **la** proposition exacte.

- A. 0,193 mm
- B. 0,04 mm
- C. 0,02 mm
- D. 0,01 mm
- E. Aucune des propositions précédentes n'est exacte

Question n° 25

Lors du parcours d'un électron dans la matière, le transfert linéique d'énergie (TEL) vérifie les propositions suivantes **sauf une, laquelle** ?

- A. le TEL est constant tout au long du parcours de l'électron
- B. la gravité des dommages cellulaires induits par le rayonnement électronique est fonction du TEL
- C. le TEL augmente lorsque la densité du milieu traversé augmente
- D. le TEL dépend de l'énergie cinétique de l'électron
- E. dans un matériau donné, le TEL est proportionnel à la densité linéique d'ionisation

Question n° 26

A propos du rayonnement de freinage, indiquer **la** proposition vraie

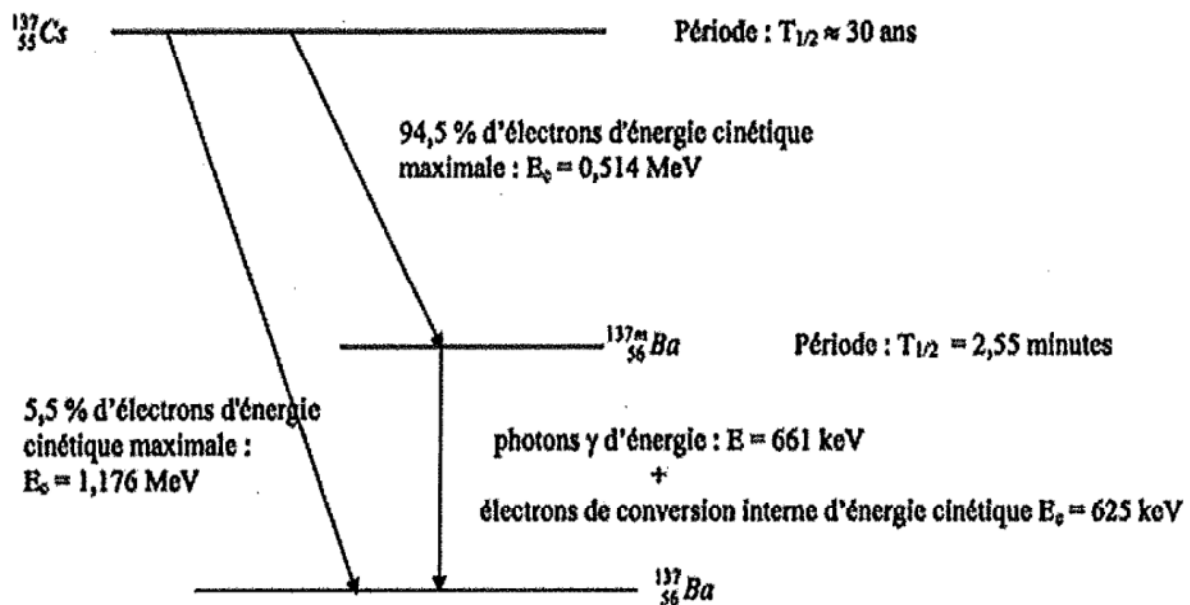
- A. le rayonnement de freinage est émis lors de l'interaction d'électrons avec les électrons de la matière
- B. il est constitué de photons gamma
- C. il s'accompagne du freinage de l'électron en raison d'une interaction coulombienne avec un noyau de la matière
- D. son spectre énergétique est un spectre de raies
- E. Aucune des propositions précédentes n'est exacte

Enoncé commun aux QCM 24,25, 26 et 27

Une source radioactive scellée constituée d'un grain de Cs-137 entouré d'une enveloppe de platine ($Z=78$) d'1mm d'épaisseur, est placée au centre d'une tumeur supposée sphérique de 8 cm de rayon, puis retirée 5 jours plus tard.

Le schéma de désintégration du Cs-137 est le suivant :

Schéma de désintégration du césium 137



La densité du platine est égale à 20.

La Couche de Demi Atténuation des photons de 661 keV dans l'eau est environ 8 cm.

Question 24

UNE SEULE PROPOSITION EST EXACTE

Quel rayonnement participe au traitement de la tumeur :

- A- les électrons d'énergie cinétique $E_c = 1,176$ MeV
- B- les électrons d'énergie cinétique $E_c = 0,514$ MeV
- C- les électrons d'énergie cinétique $E_c = 625$ keV
- D- les photons γ d'énergie $E = 661$ keV
- E- aucune des propositions précédentes n'est exacte

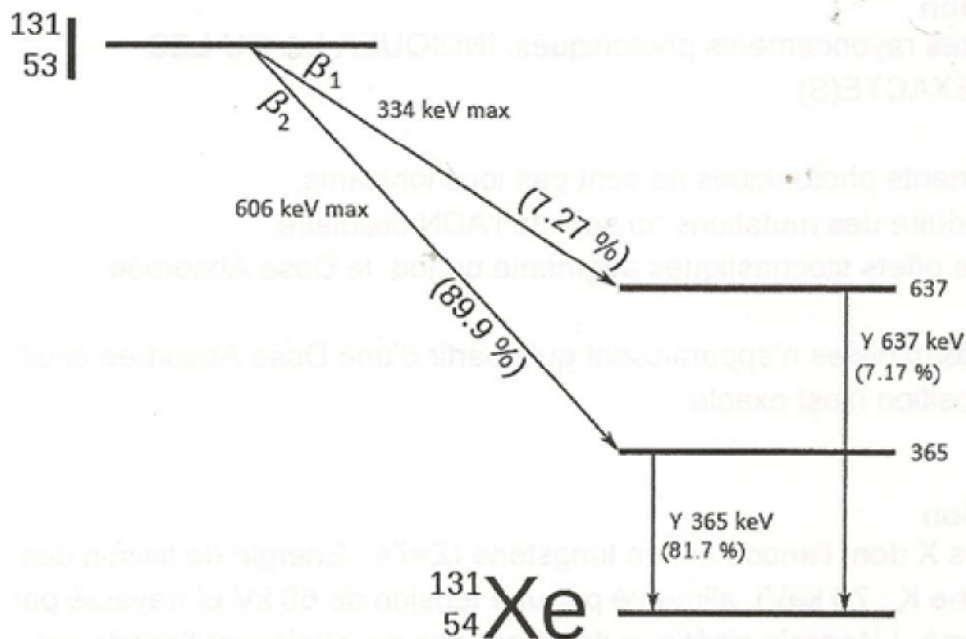
22. Question

Soit un tube à rayons X dont l'anode est en tungstène ($Z=74$; Energie de liaison des électrons de la couche K : 70 keV), alimenté par une tension de 60 kV et traversé par un courant i de 60 mA. L'énergie cinétique des électrons qui atteignent l'anode est 60 keV. INDIQUER LA PROPOSITION EXACTE

- A. L'énergie maximale des photons de freinage émis par le tube est 100 keV.
- B. On détecte à la sortie du tube des photons de fluorescence d'énergie 60 keV.
- C. On détecte à la sortie du tube des photons d'énergie 70 keV.
- D. On détecte à la sortie du tube des photons de freinage d'énergie 30 keV.
- E. Aucune proposition n'est exacte.

24. Question

L'iode-131, dont la période radioactive est 8 jours, se transforme en xénon-131 stable selon le schéma simplifié suivant :



A l'instant initial t_0 , un patient hyperthyroïdien est traité par 300 MBq d'iode 131 qui se concentre au niveau de sa thyroïde. **INDIQUER LA PROPOSITION EXACTE**

- A. Les électrons émis dans la thyroïde ont un parcours moyen supérieur à 1 cm.
- B. Au cours de la transformation radioactive d'un noyau d'iode-131 en Xénon-131 à son état fondamental, l'énergie maximale absorbée dans la thyroïde est 606 keV.
- C. Le rayonnement détecté à 10 cm de la thyroïde comporte des photons d'énergie inférieure à 365 keV.
- D. 16 jours après le traitement, le nombre d'émissions β^- par seconde est 2 fois moindre qu'à t_0 .
- E. Aucune proposition n'est exacte.

2013

19.

Lors de la réalisation d'une radiographie, on utilise des photons X dont on mesure l'atténuation par le patient.

UNE SEULE proposition est VRAIE, laquelle?

- A- les photons utilisés sont produits par interactions de photons avec l'anode en tungstène du tube à rayons X.
- B- ce rayonnement ne comporte pas de photons de fluorescence.
- C- la proportion de photons qui interagissent avec le patient est plus élevée au niveau des poumons qu'au niveau des muscles.
- D- si la tension aux bornes du tube est 60kV, l'énergie maximale des photons du faisceau émergent (sortant du patient) est 60keV
- E- Aucune des propositions précédentes n'est exacte.

22.

Une source radioactive d'activité 20 MBq à t_0 émet des particules bêta-. Le TEL (Transfert Linéique d'Energie) de ces particules dans le milieu traversé est de 1 MeV / mm. La longueur totale des trajectoires de l'ensemble des particules émises en 1 seconde à t_0 est 12km. Quelle est l'énergie cinétique des particules émises, en MeV?

UNE SEULE proposition est VRAIE, laquelle ?

- A- 0,1 MeV
- B- 0,3 MeV
- C- 0,6 MeV
- D- 1,2 MeV
- E- Aucune des propositions précédentes n'est exacte.

22. Question

Indiquer **la** réponse exacte

Le spectre continu d'émission d'un tube à rayons X ...

- A. est dû à l'excitation des atomes de gaz contenus dans le tube
- B. est lié aux photons X de fluorescence émis par la cathode
- C. est dû au freinage des électrons incidents par les noyaux des atomes constituant l'anode
- D. est fonction du matériau qui constitue l'anode
- E. est indépendant de la haute tension U appliquée au tube à rayons X

24. Question

Une source radioactive d'activité 40 MBq à t_0 émet des particules bêta d'énergie cinétique $E = 0,6$ MeV. Le TEL (Transfert Linéique d'Energie) est de 1 MeV/mm. Quelle est, à t_0 , la longueur totale des trajectoires de l'ensemble des particules émises en 1 seconde ?

Indiquer **la** réponse exacte :

- A. 1,5 km
- B. 24 km
- C. 15 km
- D. 66 km
- E. aucune des réponses n'est exacte

25. Question

Indiquer **la** proposition exacte :

- A. Les électrons peuvent interagir avec la matière par effet Compton.
- B. L'interaction de photons de 511 keV avec la matière peut donner lieu à un phénomène de matérialisation.
- C. La CDA (Couche de Demi Atténuation) est l'épaisseur de matériau qui atténue la moitié de l'énergie de chaque photon du faisceau.
- D. L'interaction de photons gamma avec la matière peut induire la production de rayons X de freinage.
- E. Aucune des propositions n'est exacte.

2010

21. Question

Le spectre en énergie recueilli à la sortie d'un tube à rayons X :

Parmi les propositions suivantes, **LAQUELLE (OU LESQUELLES)** est (sont) vraie(s) ?

- A. est un spectre de raie (discontinu).
- B. dépend de la différence de potentiel U appliquée entre le filament et l'anode.
- C. est la conséquence d'interactions de photons avec la cathode.
- D. dépend du numéro atomique Z de l'anode.
- E. aucune de ces réponses n'est exacte.

2008

21. Question

Une source radioactive d'un élément de période $T = 8$ jours, d'activité initiale $A = 5.10^4$ Bq émet des particules α d'énergie cinétique $E = 0,1$ MeV. Le TEL (Transfert d'Energie Linéique) est 1 MeV/mm. Quelle sera la longueur totale des trajectoires de l'ensemble des particules émises à l'instant $t = 8$ jours ?

INDIQUER **LA** REPONSE EXACTE :

- A. 0,25 mètre
- B. 0,5 mètre
- C. 2,5 mètres
- D. 7,2 mètres
- E. Aucune de ces réponses n'est exacte

2007

20. Question

Un photon de 4,22 MeV pénétrant dans un matériau, subit un phénomène de création de paires. On suppose que les 2 particules créées emportent la même énergie cinétique. Quelle est la longueur moyenne de chacune de leurs trajectoires sachant que la densité linéique d'ionisation DLI est de 5000 ionisations par millimètre et que l'énergie moyenne nécessaire pour produire une ionisation est : $\omega = 32$ eV ?

INDIQUER **LA** REPONSE EXACTE :

- A. 0,5 mm
- B. 1 mm
- C. 5 mm
- D. 10 mm
- E. Autre réponse

23. Question

Soit une source radioactive d'activité 1 MégaBecquerel, émettrice de particules α d'énergie 0,96 MeV. L'énergie moyenne pour créer une paire d'ions (ou ionisations) dans le milieu traversé est de 32 eV ;

En considérant que toute l'énergie des particules α sert à produire des ionisations, la charge électrique totale créée par seconde est :

INDIQUER LA RÉPONSE EXACTE :

- A. $4,8 \cdot 10^{-9}$ Coulomb
- B. $9,6 \cdot 10^{-9}$ Coulomb
- C. $4,8 \cdot 10^{-15}$ Coulomb
- D. $30 \cdot 10^{-15}$ Coulomb
- E. autre réponse.

24. Question

Soit un tube à rayons X fonctionnant sous $U_1 = 50$ KV, $i_1 = 1$ mA et une durée d'émission t_1 . Ce même tube fonctionne maintenant sous $U_2 = 100$ KV, $i_2 = 0,5$ mA et une durée d'émission t_2 . Par quel facteur faut-il multiplier le temps d'émission du premier faisceau pour que l'énergie émise par le tube ne change pas :

COCHER LA PROPOSITION VRAIE :

- A. 0,5
- B. 1
- C. 1,5
- D. 2
- E. autre valeur.

ANNEXE

VALEURS NUMÉRIQUES ÉVENTUELLEMENT UTILES

Si cela vous apparaît nécessaire dans les calculs, vous pouvez utiliser les valeurs numériques et approximations suivantes :

Nombre d'Avogadro = 6.10^{23}

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Charge élémentaire de l'électron (en valeur absolue) : $1,6.10^{-19} \text{ Coulomb}$

1 électron-volt (eV) = $1,6.10^{-19} \text{ Joule}$

1 u.m.a. (unité de masse atomique) = $1,66.10^{-27} \text{ kg} = 931 \text{ MeV} / c^2$

Constante de Planck : $h = 6,62.10^{-34} \text{ J.s}$

Masse d'un électron = $0,9.10^{-30} \text{ kg} = 0,511 \text{ MeV} / c^2$

Masse d'un proton isolé = 1,007 u.m.a.

Masse d'un neutron isolé = 1,009 u.m.a.

1 Ci = 37 GBq

Valeurs approchées de logarithmes décimaux $\log N$, de logarithmes népériens $\ln N$, de racines carrées $\sqrt{N}$ et d'exponentielles e^N pouvant éventuellement être utiles :

N	$\log N$	$\ln N$	$\sqrt{N}$
1	0	0	1
2	0,3	0,7	1,4
3	0,5	1,1	1,7
4	0,6	1,4	2
5	0,7	1,6	2,2
6	0,8	1,8	2,4
7	0,85	1,9	2,6
8	0,9	2,1	2,8
9	0,95	2,2	3
10	1,0	2,3	3,2
11	1,04	2,4	3,3
12	1,08	2,5	3,5
13	1,11	2,6	3,6
14	1,15	2,64	3,7
15	1,18	2,7	3,9
16	1,20	2,8	4
17	1,23	2,83	4,1
18	1,26	2,9	4,2
19	1,28	2,94	4,4
20	1,30	3	4,5

N	e^N
- 5	0,007
- 4	0,02
- 3	0,05
- 2	0,14
- 1	0,37
0	1
1	2,7
2	7,4
3	20,1
4	54,6
5	148,4

PARIS 5

Tableau de constantes

vitesse de la lumière dans le vide	c	3.10^8 m.s^{-1}
constante de Planck	h	$6,62.10^{-34} \text{ J.s}$
charge élémentaire	e	$1,6.10^{-19} \text{ C}$
masse de l'électron	m_e	$9,1.10^{-31} \text{ kg}$
masse du proton	m_p	$1,67.10^{-27} \text{ kg}$
constante d'Avogadro	N_A	$6,02.10^{23} \text{ mol}^{-1}$
équivalent énergétique de l'unité de masse atomique (u)		931,5 MeV
log népérien de 2	ln (2)	0,693
log népérien de 10	ln (10)	2,3
1 Faraday	F	96500 C
constante des gaz parfaits :	R	$8,32 \text{ J.mole}^{-1}.\text{K}^{-1}$
On rappelle : $\ln(ab) = \ln(a) + \ln(b)$ $\ln(a/b) = \ln(a) - \ln(b)$ $(e^a)^b = (e)^{ab}$ $2^{10} = 1024$ mais l'on admettra $2^{10} = 10^3$ $1/e = 0,37$ et $1/\sqrt{e} = 0,6$		

33. Le fluor 18 (^{18}F) est un radionucléide fréquemment utilisé en médecine nucléaire pour la détection des tumeurs, après radio-marquage d'une molécule de glucose (^{18}FDG ou $^{18}\text{fluoro-désoxy-glucose}$). La transition du ^{18}F mène directement à l'état fondamental d'un noyau stable d'oxygène 18 (^{18}O). Le défaut de masse atomique de la transition est d'environ $1,65 \text{ MeV}/c^2$. On observe également une émission photonique intense, créant un spectre de raie. Le transfert linéique moyen des particules est de $0,25 \text{ keV} / \mu\text{m}$.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

- A)** Il s'agit d'une transition par capture électronique.
- B)** On observe une émission électronique continue de 0 à environ $1,02 \text{ MeV}$.
- C)** Le noyau fils suit une transition isomérique permettant la détection scintigraphique du radio-pharmaceutique.
- D)** Le ralentissement des particules résultant de la transition du ^{18}FDG dans le corps du patient, assimilé à de l'eau, se fait sur une distance moyenne comprise dans l'intervalle $[2,48 - 2,59] \text{ mm}$
- E)** Aucune des propositions n'est exacte.

36. Un radioélément de période physique 2,76 jours émet des particules alpha d'énergie $E = 4,3 \text{ MeV}$ qui ont un parcours maximal dans les milieux biologiques de $43 \mu\text{m}$. Ce radioélément est capté exclusivement par le tissu osseux, dont la masse est estimée à 5000 g et on supposera que la concentration radioactive y est homogène et ne disparaît que par décroissance physique (absence d'élimination biologique). On administre une activité A_0 de 15 MBq de ce radio-pharmaceutique qui va totalement se désintégrer dans le patient.

On donne par ailleurs le tableau suivant :

Transfert Linéique d'Énergie moyen de la radiation (en keV / μm)	facteur de pondération radiologique W_R
inférieur à 3,5	1
de 3,5 à 7	2
de 7 à 23	4
de 23 à 53	8
de 53 à 175	16

Pour les calculs, on donne : $2,76 / \ln 2 \approx 4$.

On pourra approximer les produits suivants comme indiqué :

$6 \times 24 \times 36 \approx 5100$ et $5,1 \times 4,3 \times 1,6 \approx 35$.

$1 \text{ eV} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

- A)** L'énergie totale déposée au cours du temps par les N_0 noyaux initialement présents est comprise dans l'intervalle $[2,9 - 3,8]$ Joules.
- B)** La dose absorbée est comprise dans l'intervalle $[0,6 - 0,8]$ Gy.
- C)** [La dose équivalente est comprise dans l'intervalle $[10,1 - 13,2]$ Sv.]
- D)** Les particules alpha sont essentiellement ralenties dans les milieux biologiques par interactions avec le champ coulombien des noyaux du milieu traversé.
- E)** Aucune des propositions n'est exacte.

Question 39.

Le Gallium 68 ($Z=31$) est un radionucléide émetteur de positons qui peut être chélaté sur différentes molécules pour former des radio-pharmaceutiques (R-Ph). Un de ces R-Ph, dénommé ^{68}Ga -DOTANOC, est administré à hauteur de 150 MBq chez l'homme. En réalisant une image utilisant un tomographe à émission de positons, on montre que le ^{68}Ga -DOTANOC se fixe instantanément sur la tumeur, de masse 20 g, à hauteur de 20% et y reste lié jusqu'à désintégration complète. L'énergie moyenne par désintégration particulaire du ^{68}Ga est de 840 keV ; sa période physique est de 1,12 heure. On observe également des photons de 511 keV et de 1890 keV.

On peut également chélater du 177 lutétium (^{177}Lu) sur le DOTANOC pour créer un R-Ph à visée thérapeutique. Les caractéristiques physiques du ^{177}Lu sont une émission bêta moins, d'énergie moyenne 150 keV par désintégration et une période de 6,7 jours.

On rappelle que la dose absorbée bêta pour un R-Ph se calcule comme :

$$DA(\text{Gy}) = 1,44 * F0(\%) * \text{Activité (Bq)} * E \text{ moyenne/désintégration(J)} * T_{\text{eff}}(\text{s}) / m(\text{kg}).$$

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

A : le ^{68}Ga se désintègre par transition β^+ vers un état excité du ^{68}Zn ($Z = 30$), suivi d'une émission gamma de 1890 keV,

B : la période effective tumorale du ^{68}Ga -DOTANOC est comprise dans l'intervalle [6,5 - 7,5 min]

C : la période effective tumorale du ^{177}Lu -DOTANOC est comprise dans l'intervalle [8640 - 10080 min]

D : La dose absorbée tumorale correspondant à une injection de 150 MBq de R-Ph est plus élevée d'un facteur 20 à 30, si on utilise le marquage du DOTANOC avec le ^{177}Lu versus le ^{68}Ga ,

E : Aucune des propositions n'est exacte.

2017

Question 37. Le Radium 223 (^{223}Ra , $Z=88$) est un analogue du calcium utilisé en médecine dans le traitement des métastases osseuses des cancers de la prostate. Il subit une série désintégrations alpha (énergies comprises entre 5.0 et 7.5 MeV) et bêta (énergies comprises entre 0.44 et 0.50 MeV), aboutissant à l'état stable du ^{207}Pb ($Z=82$). La première transition se fait vers le ^{219}Rn (Radon) avec une énergie Q_α de 6,12 MeV et une période d'environ 12 jours.

La particule alpha a un parcours maximal de 30 μm dans ce milieu biologique. On injecte une activité de 50 kBq / kg de poids du patient. On donne : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. On rappelle que la dose absorbée (Gy) est l'énergie déposée par la source radioactive (J) rapportée à la masse tumorale en kg.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

- A. On peut expliquer la série de transitions conduisant au ^{207}Pb par 4 transitions alpha et 2 transitions beta,
- B. Le transfert linéique d'énergie pour cette émission alpha est compris dans l'intervalle : [188 - 195 keV / μm],
- C. Pour un patient de 60 kg, une métastase de 5 g fixe environ 0,1 % de l'activité injectée à l'instant t. Le débit de dose délivrée à cet instant t se situe alors dans l'intervalle : [4,35 – 7,90 $\mu\text{Gy/s}$],
- D. Le spectre particulaire dans la gamme d'énergie 0 à 9.0 MeV associe un spectre continu et un spectre de raies.
- E : Aucune des propositions n'est exacte.

Question 32.

On traite une patiente de 60 kg, ayant des métastases osseuses secondaires à un cancer du sein par du radium 223. Le radium 223 ($^{223}_{88}\text{Ra}$) se fixe dans la trame osseuse entourant la métastase du carcinome mammaire. On admettra que 10 % de l'activité du radium 223 se fixe instantanément et définitivement sur cette métastase osseuse. Le volume tumoral a une masse de 18 g.

On administre du radium 223 à la dose de 50 kBq par kg. La période physique du radium 223 est de 11,4 jours. La première transition se fait vers un isotope lui-même radioactif, le radon 219 ($^{219}_{86}\text{Rn}$), qui est un gaz n'ayant aucune affinité pour le tissus osseux. L'énergie correspondant à cette première transition est de 6 MeV.

On donne pour les calculs : $24 * 36 * 1,6 * 11,4 / 0,69 = 22480$.

Parmi les propositions suivante la ou lesquelles sont exactes ?

- A – la première transition vers le radon 219 est une transition alpha,
- B – La dose absorbée par le volume tumoral est située dans l'intervalle 20 à 25 Gy,
- C - La dose absorbée par le volume tumoral est située dans l'intervalle 50,5 à 65,5 Gy,
- D – La dose absorbée par le volume tumoral est située dans l'intervalle 120 à 175 Gy,
- E – aucune des propositions suivantes n'est exacte.

Question 33.

Le radio-nuclide émet des particules chargées lourdes (α) avec une énergie de 6 MeV et des particules chargées légères (β^+) d'énergie maximale 500 keV.

Dans l'eau, la particule alpha a un transfert linéique d'énergie (TLE) d'environ 200 keV par micron, le long de sa trajectoire, cette valeur étant seulement de l'ordre de 100 eV par micron pour le positon. L'énergie moyenne pour former une paire d'ions dans l'eau est de 35 eV.

Parmi les propositions suivantes la ou lesquelles sont exactes ?

- A – la particule α a un parcours maximal inférieur à 35 μm ,
- B – l'énergie du positon est totalement dissipée sur un parcours maximal de 5 mm,
- C – la densité linéique d'ionisation est comprise dans l'intervalle 4900 à 5200 paires d'ions par micron pour la particule α ,
- D – le positon s'arrête rapidement en fin de trajectoire, créant un bouquet final d'ionisations (phénomène de Bragg),
- E – aucune des propositions suivantes n'est exacte.

Formulaire non fourni en 2013

Question 44 - L'iode 129 est un produit de rejet des centrales nucléaires. Ce radionucléide a une période de $1,6 \cdot 10^7$ années et se désintègre par transition β^- vers un état excité du $^{129}_{54}\text{Xe}$ (xénon). La teneur en iode 129 du poisson est de $0,05 \mu\text{g} / \text{g}$ de poisson frais. Un sujet japonais consomme 100 g par jour de poisson, en moyenne.

On donne pour les calculs : $N_{\text{Avogadro}} = 6 \cdot 10^{23}$, fixation thyroïdienne (F_0) de l'iode au Japon : 5% , Masse de la glande thyroïde : 20 g , période biologique de l'iode dans la thyroïde : 20 jours. On considèrera qu'une année comprend $3 \cdot 10^7$ secondes.

On donne l'équation de la dose absorbée (DA) en radiothérapie interne pour l'iode 129 et avec les unités spécifiées s'écrit :

$DA (\text{Gy}) = 0,012 \cdot \text{Activité (MBq)} \cdot F_0 (\%) \cdot T_{\text{eff}} (\text{j}) / \text{Masse (g)}$, où T_{eff} désigne la période effective de l'iode 129 dans la thyroïde.

Parmi les propositions suivantes, la ou (lesquelles) est (sont) exacte(s) ?

A - L'activité d' ^{129}I ingérée en 30 jours de consommation de poissons se situe dans l'intervalle $[500 - 600 \text{ Bq}]$,

B - L'activité d' ^{129}I ingérée en 30 jours de consommation de poissons se situe dans l'intervalle $[90 - 110 \text{ Bq}]$,

C - L'activité d' ^{129}I ingérée en 30 jours de consommation de poissons se situe dans l'intervalle $[3,0 - 5,5 \text{ kBq}]$,

D - La dose absorbée par la thyroïde pour la consommation de poissons pendant un mois est comprise dans l'intervalle $[55 - 65 \mu\text{Gy}]$,

E - Aucune des propositions précédentes n'est exacte.

Question 45 - Le radon $^{210}_{86}\text{Rn}$ est un gaz radioactif naturel se transformant par émission alpha vers un isotope du Polonium. L'énergie cinétique de la particule alpha est d'environ 6,30 MeV. Ce gaz est inhalé par le système respiratoire, où la concentration surfacique au voisinage de l'épithélium bronchique est mesurée à 100 Bq / cm^2 . On considère une bronchiole cylindrique mesurant 2 mm de rayon et de 2,5 cm de longueur. On considère que le volume d'irradiation de la bronchiole par la particule alpha, $V_{\text{bronchiole}}$, a une valeur de : $V_{\text{bronchiole}} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ ml}$. Ce tissu est assimilable à de l'eau. Le transfert linéique d'énergie est d'environ $160 \text{ keV / } \mu\text{m}$, pour cette particule alpha.

Pour les calculs on fera l'approximation suivante : $\pi \times 6,30 \sim 20$, où $\pi = 3,14$.

Parmi les propositions suivantes, la ou (lesquelles) est (sont) exacte(s) ?

- A - Le noyau fils est le polonium $^{206}_{84}\text{Po}$,
- B - L'énergie déposée par seconde sur l'épithélium de la bronchiole est compris dans l'intervalle $[1,8 - 2,2 \text{ MeV}]$,
- C - Le débit de dose $[\mu\text{Gy / s}]$ au niveau de l'épithélium de la bronchiole est compris dans l'intervalle $[800 - 1200 \mu\text{Gy / s}]$,
- D - Le parcours de la particule alpha est compris dans l'intervalle $[35 - 45 \mu\text{m}]$,
- E - Aucune des propositions précédentes n'est exacte.

Question 46 - Un travailleur de l'industrie nucléaire pesant 60 kg se contamine accidentellement avec une source de polonium $^{218}_{84}\text{Po}$. L'activité ingérée est de 200 kBq. Le polonium 218 a une période d'environ 3 minutes et son schéma de désintégration peut se résumer à une transition alpha vers le niveau fondamental du plomb 214 lui-même radioactif. La particule alpha est émise avec une énergie de 6 MeV. On considère que le polonium se dilue instantanément dans l'organisme avec une répartition homogène et que son excrétion biologique est négligeable compte tenue de la brièveté de sa période physique (toutes les désintégrations ont lieu dans l'organisme). Le facteur de pondération radiologique pour les particules alpha sera pris égal à $W_R = 20$.

Parmi les propositions suivantes, la ou (lesquelles) est (sont) exacte(s) ?

- A - L'énergie de la transition alpha est comprise dans l'intervalle $[5,78 - 5,88 \text{ MeV}]$,
- B - Le nombre total de désintégrations dans l'organisme est compris dans l'intervalle : $[4,8 - 5,4 \cdot 10^7]$,
- C - La dose absorbée moyenne dans l'organisme est comprise dans l'intervalle : $[0,76 - 0,88 \mu\text{Gy}]$,
- D - La dose efficace est comprise dans l'intervalle : $[15,2 - 17,6 \mu\text{Gy}]$,
- E - Aucune des propositions précédentes n'est exacte.

Exercice 32 - L'astate ^{211}At est un radionucléide utilisable en radiothérapie interne vectorisée, de période 7,2 h.

L' ^{211}At est émetteur schématiquement selon deux voies. La voie 1 (42 %) consiste en une transition alpha d'énergie $Q_1 = 5,9 \text{ MeV}$; elle est suivie d'une transition du noyau fils par capture électronique, de période 31 années. La voie 2 (58 %) consiste en une capture électronique; elle est suivie d'une transition alpha du noyau fils, de période 500 ms et d'énergie $Q_2 = 7,5 \text{ MeV}$. Les deux voies aboutissent à l'état fondamental d'un noyau stable. On donne les numéros atomiques suivants : astate ($Z = 85$), plomb ($Z = 82$), polonium ($Z = 84$), bismuth ($Z = 83$).

Lors de la préparation d'un radiopharmaceutique contenant de l' ^{211}At , le radiopharmacien se contamine et ingère accidentellement 10 kBq d' ^{211}At . Ce radionucléide se répartit instantanément dans l'organisme où il se fixe pour environ 50% dans la thyroïde, dont il est ensuite éliminé avec une période biologique très grande (20 jours) par rapport à sa période physique.

On donne :

. masse de la thyroïde égale à 20 g ;

. facteur de pondération radiologique pour les émissions alpha, $W_R = 20$;

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

On prendra : $7,2 \times 1,6 \times 6,83 \times 3,6 \times 1,44 = 400$.

On pourra calculer la dose absorbée par émission alpha, $D(\alpha)$, par la relation :

$D(\alpha) = [1,44 \times A(0) \times T_{\text{eff}} \times E_{\text{moy}}] / [\text{masse de la thyroïde}]$, où $A(0)$ désigne l'activité initiale d' ^{211}At fixée dans la thyroïde (fixation instantanée à $t=0$), E_{moy} l'énergie moyenne émise par transition et T_{eff} la période effective thyroïdienne de l' ^{211}At .

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

A - Les transitions en cascade de l' ^{211}At aboutissent au plomb 207,

B - Après un temps de décroissance de 1000 heures, une source d'astate 211 initialement pure contient entre 56% et 60% de plomb,

C - L'énergie moyenne des particules alpha émises par une source d' ^{211}At est comprise dans l'intervalle : $[6,6 - 7,0] \text{ MeV}$,

D - La dose équivalente thyroïdienne (mSv) due aux seules transitions alpha de l' ^{211}At est comprise dans l'intervalle : $[160 - 240]$,

E - Aucune des propositions précédentes n'est exacte.

Exercice 34 - Le carbone 14 est formé dans l'atmosphère par l'action des neutrons du rayonnement cosmique sur l'azote 14, selon la réaction : $n + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{14}\text{C} + p$.

Le carbone 14 est un émetteur β^- de période égale à 5700 ans. L'étude du spectre électromagnétique de la transition ne met en évidence aucune émission. La différence des masses atomiques entre les niveaux fondamentaux du ${}^{14}_6\text{C}$ et de l' ${}^{14}_7\text{N}$ est d'environ 155 keV/c². Dans l'eau, le pouvoir de ralentissement par collision vis-à-vis du rayonnement β^- est de 0,15 keV/μm.

Le radiocarbone est assimilé par les organismes vivants en même temps que le carbone stable mais, une fois l'organisme mort, le ${}^{14}\text{C}$ n'est plus incorporé et le rapport des nombres de noyaux, $N({}^{14}\text{C}) / N({}^{12}\text{C})$ décroît avec le temps, permettant une datation rétrospective des échantillons.

Dans l'atmosphère, l'activité spécifique du ${}^{14}\text{C}$ est considérée comme stable et vaut environ 0,23 Bq de ${}^{14}\text{C}$ par gramme de carbone total. On mesure dans un fragment de momie une activité de 0,115 Bq de ${}^{14}\text{C}$ par gramme de carbone.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

- A - Le spectre électronique de la désintégration du ${}^{14}\text{C}$ est un spectre continu de valeur maximale 155 keV,
- B - Dans le cas d'une particule chargée légère, le rapport $[S_{\text{col}} / S_{\text{rad}}]$, du pouvoir de ralentissement par collision (S_{col}) au pouvoir de ralentissement par freinage (S_{rad}), augmente avec le Z du milieu traversé et l'énergie cinétique de la particule,
- C - Un écran de 2 mm d'eau arrêterait environ 50 % des particules β^- émises par le ${}^{14}\text{C}$,
- D - L'échantillon prélevé correspond à une momie vieille d'environ 2850 ans,
- E - Aucune des propositions précédentes n'est exacte.

Question 29. Le fluor 18 ($^{18}_9F$) est un radionucléide fréquemment utilisé en médecine nucléaire chez l'homme, notamment pour la détection des tumeurs, après radiomarquage d'une molécule de glucose (^{18}FDG ou $^{18}fluoro-désoxy-glucose$). La transition du $^{18}_9F$ mène directement à l'état fondamental d'un noyau stable.

Lors de l'étude de cette transition, on observe un spectre particulaire continu dont l'énergie maximale est de 630 keV et un spectre photonique de raie, de grande intensité, d'énergie 511 keV. L'énergie de liaison électronique pourra être estimée selon le modèle de Bohr.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

A : La production du fluor 18 peut se faire selon la réaction nucléaire suivante :

$^{18}_8O + n \rightarrow ^{18}_9F + p$, où p et n désignent respectivement le proton et le neutron,

B : Le fluor subit une transition par capture électronique suivie d'une émission de fluorescence X de 511 keV,

C : L'équivalent énergétique du défaut de masse atomique ($\Delta M c^2$) de la transition est d'environ 1,65 MeV,

D : Le ralentissement des particules résultant de la transition du ^{18}FDG dans le corps du patient, que l'on considèrera comme équivalent à de l'eau, se fait principalement par rayonnement de freinage,

E : Aucune des propositions n'est exacte.

Question 32. Une chercheuse en biologie moléculaire pesant 48 kg manipule de l'astate 211, un émetteur alpha de numéro atomique $Z = 85$. Pour se protéger du rayonnement, elle utilise un écran en plexiglas (polyméthacrylate de méthyle) dont le pouvoir de ralentissement linéique total pour les particules alpha est de $150 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$.

Elle utilise une activité totale de 500 kBq pour ses expérimentations. Suite à une erreur de manipulation, elle ingère accidentellement 10% de cette activité qui se répartit instantanément et de façon homogène dans tout l'organisme.

Les caractéristiques de l'astate 211 sont les suivantes : période physique de 7 heures, transition par émission alpha (50%) ou par capture électronique (50%), énergie de la transition alpha : 6 MeV, période biologique dans l'organisme entier d'environ 20 j. On donne $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Facteurs de pondération radiologique: $W_R = 1$ pour les rayonnements électroniques et $W_R = 20$ pour les particules alpha.

On calculera la dose absorbée par émission alpha, D , en Gray, comme :

$D = 1,44 \times T_{\text{eff}} \times \frac{d}{dt} D(t=0)$ où $\frac{d}{dt} D(t=0)$ désigne le débit de dose absorbée à l'instant $t=0$, immédiatement après la contamination.

On considérera que $1,44 \times 7 = 10$.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

A : La transition de l'astate 211 aboutit au bismuth $^{207}_{83}\text{Bi}$ ou au polonium $^{211}_{84}\text{Po}$,

B : Un écran de plexiglas de 0,05 mm d'épaisseur permettrait de la protéger totalement de l'exposition externe aux particules alpha,

C : Le débit de dose absorbée par émission alpha, immédiatement après la contamination, $\frac{d}{dt} D(t=0)$ est compris dans l'intervalle : $[0,4 \text{ à } 0,6 \cdot 10^{-9} \text{ Gy} / \text{s}]$,

D : La dose équivalente pour le corps entier due à la transition alpha est comprise dans l'intervalle $[12 \text{ à } 14 \mu\text{Sv}]$,

E : Aucune des propositions n'est exacte.

Exercice 13 – Il existe trois isotopes du potassium ($Z = 19$), dont l'un est naturellement radioactif, le ^{40}K , de période $1,3 \cdot 10^9$ années et d'abondance 0,012 %. Il subit dans 90 % des cas une transition vers l'état fondamental du calcium (^{40}Ca), en émettant des particules β^- d'énergie maximale 1,3 MeV, correspondant à une énergie moyenne par désintégration d'environ 0,60 MeV. Il subit également dans 10 % des cas une transition vers l'état fondamental de l' ^{40}Ar , par capture électronique ou émission β^+ .

La quantité totale de potassium dans un organisme humain adulte de 65 kg est voisine de 150 g. Pour les calculs on considérera qu'une année vaut environ $31 \cdot 10^6$ s, et on utilisera impérativement les approximations suivantes : $18 \times 6,02 \times \ln 2 / (40 \times 1,3 \times 31) = 0,05$ et $43,2 / 65 = 0,66$.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) exacte(s) ?

A : Le numéro atomique de l' ^{40}Ar est $Z = 20$,

B : L'activité de ce corps humain en ^{40}K est d'environ 5 kBq,

C : On peut détecter des photons de 511 keV,

D : La dose moyenne liée à la seule émission β^- , délivrée par seconde, est comprise entre $0,6 \cdot 10^{-8} \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$ et $0,7 \cdot 10^{-8} \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$,

E : Aucune des propositions précédentes n'est exacte.

Exercice 14 - Après inhalation, un isotope du radon, le ^{210}Rn ($Z = 86$), se dépose au sein de l'épithélium bronchique où il peut subir une transition alpha vers un isotope du Polonium (Po). On donne les masses atomiques suivantes : $M_{\text{atomique}}(\text{He}) = 4,0026 \text{ u}$, $M_{\text{atomique}}(^{210}\text{Rn}) = 209,9897 \text{ u}$ et $M_{\text{atomique}}(\text{Po}) = 205,9805 \text{ u}$. L'énergie moyenne par ionisation dans le milieu considéré est d'environ 33,3 eV. Le transfert linéique d'énergie pour cette particule alpha est de 150 keV par μm .

Pour les calculs, on prendra : $66 \times 931,5 = 61480$; $33,3 = 100/3$ et $206/210 = 0,98$.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) exacte(s) ?

A : Le noyau fils est le ^{207}Po ,

B : Le spectre de la particule alpha montre une raie dont l'énergie est comprise entre 5,50 et 6,10 MeV,

C : Le nombre de paires d'ions créées par la particule alpha le long de sa trajectoire est compris dans l'intervalle [150 000 – 160 000],

D : Le parcours (μm) de la particule alpha est compris dans l'intervalle [20 – 30],

E : Aucune des propositions précédentes n'est exacte.

Exercice 10 - Le fluor 18 ($^{18}_9F$) est un radionucléide fréquemment utilisé en médecine nucléaire, notamment pour la détection des tumeurs chez l'homme après radiomarquage d'une molécule de glucose (^{18}FDG ou 18 fluoro-désoxy-glucose).

La transition conduit directement à l'état fondamental d'un isotope stable de l'oxygène ($^{18}_8O$). L'équivalent énergétique du défaut de masse atomique (ΔMc^2) de la transition est de 1,65 MeV. Les spectres d'émission mettent en évidence : une raie de photons d'énergie 511 keV, de grande intensité ; une raie d'électrons Auger KLL d'énergie voisine de 0,5 keV, de très faible intensité. Le Transfert Linéique d'Energie dans les milieux biologiques pour les électrons et les positons sera pris égal à 0,25 keV/ μm .

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

A – la production du fluor 18 peut se faire selon la réaction nucléaire suivante : $^{18}_8O + p \rightarrow ^{18}_9F + n$ où p et n désignent respectivement le proton et le neutron,

B – on peut observer des positons d'énergie maximale 630 keV,

C – la transition du fluor vers l'oxygène s'explique totalement et exclusivement par une émission β^+ ,

D - le ralentissement des positons résultant de la transition du ^{18}FDG dans le corps du patient (que l'on considérera comme équivalent à de l'eau) se fait principalement par rayonnement de freinage,

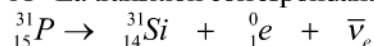
E - le parcours maximal du positon émis est inférieur à 1 mm.

Exercice 14 - En 1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie font l'expérience de bombarder une feuille d'aluminium ($^{27}_{13}\text{Al}$) avec des particules alpha émises par du polonium. Ils sont alors capables de détecter une émission de neutrons en provenance de la cible d'aluminium. L'exposition au polonium est poursuivie un certain temps, puis la source de particules alpha est retirée. Ils constatent que l'émission de neutrons a cessé mais observent alors une émission particulière d'électrons positifs (β^+).

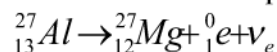
On donne la différence des masses atomiques entre les atomes père et fils de la transition β^+ , à l'état fondamental : $\Delta M = 0,00457 \text{ u}$. Le pouvoir de ralentissement linéique de l'eau pour les électrons, tant négatifs que positifs, est de $0,25 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$. Pour les calculs on considérera : $931,5 \times 4,57 = 4257$.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

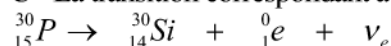
A - La transition correspondant à l'émission des positons peut s'écrire :



B - La transition correspondant à l'émission des positons peut s'écrire :



C - La transition correspondant à l'émission des positons peut s'écrire :



D - L'énergie maximale des particules β^+ est d'environ 3,2 MeV,

E - Le parcours maximal des β^+ dans l'eau est compris entre 12,8 et 13,2 mm.

Exercice 18 - Un chercheur en biologie moléculaire pesant 70 kg manipule du phosphore ^{32}P . Pour se protéger du rayonnement β^- , il utilise un écran en plexiglas (polyméthacrylate de méthyle) dont le pouvoir de ralentissement massique total est de $0,2 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$. Il utilise une activité totale de 400 kBq pour ses expérimentations. Suite à une erreur de manipulation, il ingère accidentellement 10% de cette activité qui se répartit de façon homogène dans tout l'organisme.

Les caractéristiques du ^{32}P , émetteur β^- pur sont les suivantes : période physique d'environ 14 j, énergie cinétique maximale de la particule $\beta^- = 1,70 \text{ MeV}$, énergie cinétique moyenne de la particule $\beta^- = 0,70 \text{ MeV}$, période biologique dans l'organisme entier d'environ 28 j.

Parmi les propositions suivantes, laquelle (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

A - Un écran de plexiglas de 7,5 mm d'épaisseur permettrait de le protéger totalement de l'exposition externe,

B - Le débit de dose absorbée immédiatement après la contamination est d'environ $64 \cdot 10^{-12} \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$,

C - La période effective du phosphore 32 ingéré est d'environ 9,33 jours,

D - La dose absorbée totale est d'environ 9 μGy ,

E - Le spectre du ^{32}P est continu de 0 à 1700 keV.

Exercice 14 – Parmi les propositions suivantes concernant les interactions des particules avec la matière, la (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) :

- A – le ralentissement d'une particule lourde chargée résulte essentiellement d'un grand nombre d'interactions électromagnétiques, à faible transfert d'énergie, avec les électrons du milieu traversé,
- B – le transfert d'énergie entre une particule chargée incidente et les électrons du milieu traversé augmente avec le carré de la vitesse de la particule incidente,
- C – le rayonnement de freinage a un spectre continu car il résulte d'interactions obligatoires entre les électrons du faisceau incident et les électrons des atomes de la cible,
- D – dans le cas d'une particule lourde chargée, la densité linéique d'ionisation est constante tout le long de la trajectoire,
- E – dans le cas d'un faisceau électronique, le pouvoir de ralentissement linéique dû au rayonnement de freinage augmente avec l'énergie cinétique des électrons incidents et le numéro atomique de la cible.

Exercice 20 - On observe un échantillon biologique assimilable à de l'eau et contenant une molécule radiomarquée. On constate que le parcours des particules émises est d'environ 40 μm et que la densité d'ionisations augmente brutalement en fin de parcours. L'analyse spectrométrique de cette substance radioactive montre que les particules sont toutes émises avec une énergie voisine de 6 MeV. Parmi les propositions suivantes la (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) :

- A – il s'agit d'une émission β^+ suivie d'un phénomène d'annihilation,
- B – il s'agit d'une capture électronique avec émission de neutrinos de 6 MeV,
- C – il s'agit d'une transition alpha d'énergie Q_α supérieure à 6 MeV,
- D – il s'agit d'une transition β^- suivie d'une désexcitation nucléaire par conversion interne d'électrons de 6 MeV,
- E – le transfert linéique d'énergie est d'environ 150 keV/ μm .

Exercice 23 - On considère la transition radioactive isobarique de l'indium vers le cadmium suivante, où Q_{tr} désigne l'énergie libérée par la transition qui aboutit à un état excité du cadmium (Cd^*) : ${}^{111}_{49}In \rightarrow {}^{111}_{48}Cd^* + Q_{tr}$

L'indium 111 (période physique : 70 heures) est utilisé en radiothérapie interne, après marquage sur un anticorps monoclonal, réalisant un radiopharmaceutique (${}^{111}In$ -MoAb). La différence de masse entre les états atomique fondamentaux de l'indium 111 et du cadmium 111 est de $0,850 \text{ MeV}/c^2$. La spectrométrie photonique de la transition montre deux pics principaux d'énergie à 170 keV et 245 keV. La période biologique de l'anticorps dans l'organisme est de 130 heures. L'énergie de liaison électronique, W_K du ${}^{111}Cd$ vaut environ 31 keV. Le pouvoir de ralentissement linéique de l'eau pour les électrons est d'environ $0,25 \text{ keV}/\mu\text{m}$.

Parmi les propositions suivantes la (ou lesquelles) est (sont) vraie(s) ?

- A – la transition est une émission β^+ suivie de deux désexcitations γ ,
- B – on peut observer des électrons de conversion interne d'environ 139 keV et 214 keV,
- C – la période effective du radiopharmaceutique est d'environ 45,5 heures,
- D – si on veut arrêter au moins 98 % des photons de 245 keV, il faut conserver le radiopharmaceutique dans une enceinte dont la paroi a une épaisseur au moins égale à 6 fois la CDA du matériau choisi,
- E – on n'observe plus de trajectoires électroniques au-delà de 1 mm d'une source ponctuelle d' ${}^{111}In$ placée dans l'eau.

Annales Classées Supplémentaires

UPC

2023 Session 2

Question 10. Un radioélément de période physique 6,9 jours émet des rayonnements alpha d'énergie $E = 4,3 \text{ MeV}$ qui ont un parcours maximal dans les milieux biologiques de 43 microns. Le nombre de noyaux initialement présents dans la source est de 5×10^{12} atomes.

Parmi les propositions suivantes, la ou lesquelles sont exactes ?

- A. L'activité initiale de la source est comprise dans l'intervalle [41 à 83] MBq,
- B. La particule alpha se désintègre vers une particule beta moins et une particule beta plus associée à l'émission d'un photon d'annihilation
- C. Les interactions coulombiennes entre la particule alpha en mouvement et les noyaux du milieu traversé contribuent fortement à son ralentissement.
- D. Le transfert linéique moyen pour cette particule est compris dans l'intervalle [95 à 110 keV/micron],
- E. La dose absorbée par un tissu sain situé à 85 microns de la cible est nulle.

Question 11. Un radioélément de période physique 6,0 jours émet des rayonnements alpha d'énergie $E = 4,3 \text{ MeV}$ qui ont un parcours maximal dans les milieux biologiques de 43 microns. Cet émetteur alpha est fixé chimiquement sur une molécule assurant la vectorisation du produit radioactif dans une tumeur. La fixation est totale et supposée immédiate dans la tumeur, juste après administration du médicament radiopharmaceutique. On supposera enfin que la radioactivité ne disparaît que par suite de la décroissance physique de l'émetteur alpha. On considère que l'activité initialement fixée dans la tumeur est de 20 MBq. Parmi les propositions suivantes, la ou lesquelles sont exactes ?

- A. La radioactivité fixée dans la tumeur 12 jours après injection est d'environ 10 MBq
- B. Le nombre de noyaux initialement présents dans la source est d'environ $1,4 \cdot 10^{13}$
- C. Le nombre de noyaux initialement présents dans la source est d'environ $5 \cdot 10^{11}$
- D. Le nombre de noyaux initialement présents dans la source est d'environ $4 \cdot 10^8$
- E. Le transfert linéique moyen pour cette particule est compris dans l'intervalle [95 à 110 keV/micron]

Question 12. Une tumeur de 12 g est traitée par injection d'un produit radioactif émetteur alpha en solution qui se fixe rapidement à hauteur de 50% de l'activité administrée. Le nombre de noyaux radioactifs initialement présents dans l'injectat est de $2 \cdot 10^8$. La période physique de l'émetteur alpha est de 6,9 jours et l'énergie déposée par désintégration de 1 noyau est d'environ : $1,2 \cdot 10^{-13}$ Joule. Parmi les propositions suivantes, la ou lesquelles sont exactes ?

- A. L'activité initialement fixée par la tumeur est d'environ 150 kBq
- B. L'activité initialement fixée par la tumeur est d'environ 200 MBq
- C. L'activité initialement fixée par la tumeur est d'environ 100 Bq
- D. La dose absorbée effective est d'environ 5 microGy / MBq injecté
- E. La dose absorbée effective est d'environ 5 Gy / MBq injecté

Question 13. Les particules chargées forment des paires d'ions le long de leur passage dans un milieu biologique. Des particules alpha de 8,1 MeV ont un parcours de 54 microns dans ce milieu où l'énergie moyenne de formation d'une paire d'ions est de 50 eV.

On dénomme : TLE le transfert linéique d'énergie, DLI la Densité linéique d'ionisations et dm, la distance moyenne entre deux paires d'ions créées.

Parmi les propositions suivantes, la ou lesquelles sont exactes ?

- A. la particule alpha a un TLE de 200 keV / micron et une DLI de 4500 paires d'ions / micron
- B. la particule alpha a un TLE de 150 keV / micron et une DLI de 3000 paires d'ions / micron
- C. la DLI diminue en fin de parcours
- D. la distance moyenne entre 2 paires d'ions créés est de 0,33 nm
- E. la distance moyenne entre 2 paires d'ions créés est de 0,5 nm

Question 14. Parmi les propositions suivantes, concernant les interactions des particules chargées avec la matière laquelle (ou lesquelles) est (ou sont) exactes ?

- A. La particule alpha est composée de 2 protons et 2 neutrons
- B. Les interactions entre la particule alpha et le milieu traversé se font principalement par interactions coulombiennes avec les électrons du milieu traversé
- C. Le ralentissement de la particule alpha dans la matière suit une trajectoire grossièrement rectiligne
- D. Le ralentissement de la particule alpha se fait principalement par une série de chocs frontaux avec les noyaux du milieu traversé
- E. Un transfert d'énergie de 18,6 eV lors d'une collision entre une particule chargée lourde et un électron d'un atome d'Hydrogène est susceptible de créer une paire d'ions avec émission d'un électron d'énergie cinétique de 5 eV

2022 Session 2

Un radioélément de période physique 2,14 jours émet des rayonnements alpha d'énergie $E = 4,3 \text{ MeV}$ qui ont un parcours maximal dans les milieux biologiques de 43 microns. Cet émetteur est vectorisé dans une tumeur de masse 1035 g après administration d'un produit radio-pharmaceutique. On supposera que la concentration radioactive reste homogène dans la tumeur et que la radioactivité ne disparaît que par suite de la décroissance physique de l'émetteur alpha. On considère que l'activité initialement fixée dans la tumeur est de 15 MBq.

QCM 13. Parmi les propositions suivantes, la ou lesquelles sont exactes ?

- A. le nombre total d'atomes radioactifs émetteurs alpha présents dans la tumeur est compris dans l'intervalle: $[2 \text{ à } 5 \cdot 10^{12}]$ atomes.
- B. l'énergie absorbée par la tumeur est comprise dans l'intervalle: $[2,1 \text{ à } 2,8]$ Joules.
- C. la dose absorbée par la tumeur est comprise dans l'intervalle $[2,0 \text{ à } 2,6]$ Gy.
- D. le transfert linéique moyen pour cette particule est compris dans l'intervalle $[95 \text{ à } 110 \text{ keV/micron}]$.
- E. la dose absorbée par un tissu sain situé à 85 microns de la cible est nulle.

Le potassium naturel contenu dans l'organisme est un mélange d'isotopes stables (^{39}K et ^{41}K) et d'un isotope radioactif le ^{40}K de période physique égale à $1,3 \cdot 10^9$ ans et d'abondance isotopique 0,012 %. L'activité du potassium est constante au cours du temps, voisine de 5 kBq pour un adulte de 70 kg.

Le ^{40}K se désintègre par deux voies différentes :

- émission beta-moins (90 % des désintégrations) d'énergie moyenne 0,45 MeV.
- émission par capture électronique (10 % des désintégrations) suivie d'une émission gamma d'énergie 1,46 MeV.

QCM 14. Parmi les propositions suivantes, la ou lesquelles sont exactes ?

- A. L'énergie déposée par les émissions particulières, à chaque désintégration, est comprise dans l'intervalle: $[3,95 \text{ à } 4,15]$ MeV.
- B. le nombre total de désintégrations sur une période de un an est compris dans l'intervalle: $[1,40 \text{ à } 1,70] \cdot 10^{12}$.
- C. l'énergie déposée dans l'organisme sur une période d'un an est d'environ 10^{-2} Joule.
- D. la dose annuelle absorbée par l'organisme due au ^{40}K est comprise dans l'intervalle $[120 \text{ à } 170]$ mGy.
- E. la dose annuelle absorbée par l'organisme due au ^{40}K est comprise dans l'intervalle: $[250 \text{ à } 470]$ microGy.

Les particules chargées forment des paires d'ions le long de leur passage dans un milieu biologique. Des particules alpha de 8,1 MeV ont un parcours maximal de 54 μm dans ce milieu où l'énergie moyenne de formation d'une paire d'ions est de 50 eV. On dénomme: TLE le transfert linéique d'énergie, DLI la Densité linéique d'ionisations et dm , la distance moyenne entre deux paires d'ions créées.

QCM 15. Parmi les propositions suivantes, la ou lesquelles sont exactes ?

- A. la particule alpha a un TLE de $200 \text{ keV} / \mu\text{m}$ et une DLI de 4500 paires d'ions / μm .
- B. la particule alpha a un TLE de $150 \text{ keV} / \mu\text{m}$ et une DLI de 3000 paires d'ions / μm .
- C. la DLI diminue en fin de parcours.
- D. la distance moyenne entre 2 paires d'ions créées est de 0,33 nm.
- E. la distance moyenne entre 2 paires d'ions créées est de 5 nm.

QCM 16. Parmi les propositions suivantes, concernant les interactions des particules chargées avec la matière laquelle (ou lesquelles) est (ou sont) exactes ?

- A. la particule alpha est composée de 2 protons et 2 neutrons.
- B. les interactions entre la particule alpha et le milieu traversé se font principalement par interactions coulombiennes avec les électrons du milieu traversé.
- C. Le ralentissement de la particule alpha dans la matière suit une trajectoire grossièrement rectiligne.
- D. Le ralentissement de la particule alpha se fait principalement par une série de chocs frontaux avec les noyaux du milieu traversé.
- E. Un transfert d'énergie de 18,6 eV lors d'une collision entre une particule chargée lourde et un électron d'un atome d'Hydrogène est susceptible de créer une paire d'ions avec émission d'un électron d'énergie cinétique de 5 eV.

2021 Session 2

Question 11

Un radioélément (X) de période physique 2 jours émet des rayonnements α d'énergie $E = 4,5$ MeV qui ont un parcours maximal dans les milieux biologiques de 45 μm .

On traite une tumeur de 500 g avec un radio-pharmaceutique (RPM) marqué avec cet émetteur X (RPM-X). On supposera que, après administration, la concentration radioactive est homogène dans la tumeur et que la radioactivité ne disparaît que par décroissance physique. On se propose de calculer la dose absorbée au cours du temps dans cette tumeur après fixation instantanée d'une activité initiale de 16 MBq de RPM-X.

Parmi les propositions suivantes, **laquelle (ou lesquelles)** est (ou sont) exacte(s) ? :

- A. le transfert linéique d'énergie est compris dans l'intervalle [3,5 à 7,5 keV par μm]
- B. le nombre de noyaux radioactifs présents dans la tumeur sous forme de RPM-X est compris dans l'intervalle : [3,5 à 4,5 10^{12}]
- C. en supposant une énergie totale déposée dans la tumeur de 2,5 Joules, la dose absorbée sera comprise dans l'intervalle : [7,5 à 10,5 Gy]
- D. la densité linéique d'ionisations de la particule α décroît rapidement tout au long de la trajectoire
- E. huit jours après administration, l'activité fixée est comprise dans l'intervalle : [2,4 à 2,8 MBq]

Question 12

Un échantillon de plasma assimilable à de l'eau contient une molécule radio-marquée avec un radioélément X. On constate que le parcours des particules émises est globalement rectiligne et d'environ 40 μm de longueur. L'analyse spectrométrique de cette substance radioactive montre que les particules sont toutes émises avec une énergie voisine de 6 MeV. L'énergie moyenne de formation d'une paire d'ions (e^-, X^+) dans l'eau est de 50 eV pour ce radioélément.

On prendra : $\ln 2 - \ln 10 = -1,6$ et $\ln 2 = 0,70$.

Parmi les propositions suivantes, **laquelle (ou lesquelles)** est (ou sont) exacte(s) ? :

- A. le radioélément X subit une transition bêta moins suivie d'une désexcitation nucléaire avec émission d'électrons de conversion d'environ 6 MeV
- B. le transfert linéique d'énergie est compris dans l'intervalle [160 à 180 keV / μm]
- C. la densité linéique d'ionisations est comprise dans l'intervalle [2800 à 3200] paires d'ions par μm
- D. le ralentissement de la particule se fait principalement par interactions coulombiennes avec les noyaux du milieu traversé
- E. s'il reste 25 % de l'activité dans l'échantillon initial au bout de 5 jours, la période physique de X est comprise dans l'intervalle [1,8 à 2,9] jours

Question 13

Une chercheuse en biologie moléculaire manipule de l'astate 211, un émetteur α de numéro atomique $Z = 85$. Pour se protéger du rayonnement, elle utilise un écran en plexiglas dont le pouvoir de ralentissement linéique totale pour les particules α est de 150 keV. μm^{-1} . La chercheuse utilise une activité totale de 500 kBq pour ses expérimentations. Suite à une erreur de manipulation, elle ingère accidentellement 10% de cette activité qui se répartit immédiatement et de façon homogène dans tout l'organisme.

On donne :

- Les caractéristiques de l'astate 211 :
 - période physique : 7,2 heures
 - taux de désintégrations par transition α : 50%
 - énergie cinétique maximale de la particule α : 6 MeV
 - période biologique dans l'organisme entier : 20 jours
- $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Parmi les propositions suivantes, **laquelle (ou lesquelles)** est (ou sont) exacte(s) ? :

- A. l'astate 211 subit une transition α vers le bismuth 207 ($Z = 83$)
- B. un écran de plexiglas de 0,05 mm d'épaisseur permettrait de protéger totalement la chercheuse de l'exposition externe aux particules α
- C. l'énergie liée aux émissions α déposées dans l'organisme, immédiatement après la contamination, est comprise dans l'intervalle : [0,9 à 5,1 10^{-8} J / s]
- D. la période effective de l'astate 211 est comprise dans l'intervalle : [6,5 à 7,6] heures
- E. l'équation aux dimensions du pouvoir de ralentissement d'une particule α est M. L. T⁻²