

IMRT2 : DEVOIR 4 : 1213

Données :

célérité de la lumière : $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 931,49 \text{ MeV}/c^2$

masse d'un proton : $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

masse de l'électron : $m_e = 5,48 \times 10^{-4} \text{ u} = 0,511 \text{ meV} = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

constante de Planck : $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

charge élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

unité d'activité : $1 \text{ Ci (curie)} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$

<i>symbole de l'élément chimique</i>	<i>Ca</i>	<i>Sc</i>	<i>Ti</i>	<i>Tl</i>	<i>Pb</i>	<i>Bi</i>	<i>Po</i>	<i>At</i>
<i>numéro atomique</i>	20	21	22	81	82	83	84	85

Partie 1 : QCM

Compléter le tableau par V pour Vrai et F pour Faux

- L'effet photoélectrique est une interaction entre :
 - un électron incident et un électron lié de l'atome cible.
 - un photon incident et un électron lié de l'atome cible.
 - un photon incident et un électron libre.
- Un photon incident X peut provoquer un effet photoélectrique :
 - si son énergie est supérieure à l'énergie de liaison d'un électron K de l'atome cible.
 - si son énergie est inférieure à l'énergie de liaison d'un électron K de l'atome cible.
 - uniquement si son énergie est supérieure à l'énergie de liaison du noyau de l'atome cible.
- La probabilité d'interaction par effet photoélectrique est plus grande si l'énergie du photon incident X est :
 - voisine mais légèrement supérieure à l'énergie de liaison d'un électron K ou L de l'atome cible.
 - égale à la différence des énergies de liaison $E_K - E_L$ des électrons de l'atome cible.
 - voisine de l'énergie de liaison d'un électron externe de l'atome cible.
- Dans une diffusion simple de Thomson-Rayleigh, le photon incident est dévié :
 - sans changement de longueur d'onde.
 - avec augmentation de sa longueur d'onde.
 - avec diminution de sa longueur d'onde.
- Lors de l'effet Compton, le photon incident :
 - transfère toute son énergie à l'électron projeté si le choc est tangentiel.
 - transfère toute son énergie à l'électron projeté si le choc est frontal.
 - ne peut pas transférer toute son énergie à l'électron quel que soit le type de choc.
- Lors de l'effet Compton :
 - l'électron Compton est toujours projeté vers l'avant et le photon diffusé est toujours projeté vers l'arrière.
 - l'électron Compton est toujours projeté vers l'arrière et le photon diffusé est toujours projeté vers l'avant.
 - l'électron Compton est toujours projeté vers l'avant et le photon diffusé peut éventuellement être émis vers l'arrière.
- Un électron Auger est :
 - un photoélectron expulsé par effet photoélectrique.
 - un électron provenant d'un effet de matérialisation.
 - un électron expulsé après un réarrangement électronique.

8. Lors de l'effet de matérialisation, le photon incident se matérialise en donnant naissance :

- un électron et un positon, qui s'annihilent en formant deux photons diffusés de 0,511 MeV chacun.
- un électron et un proton, qui s'annihilent en formant deux photons diffusés de 0,511 MeV chacun.
- un électron et un positon; le positon se combine en fin de parcours à un électron du milieu et la réaction d'annihilation produit deux photons diffusés de 511 keV chacun.

9. L'effet de matérialisation se produit :

- pour des énergies supérieures à celles de l'effet Compton.
- pour des énergies inférieures à celles de l'effet photoélectrique.
- pour des énergies inférieures à 1,022 MeV.

10. Un écran d'épaisseur égale à 4 fois la CDA (couche de demi-atténuation) :

- laisse passer un photon sur 4.
- laisse passer un photon sur 16.
- absorbe 15 photons sur 16.

11. Le coefficient d'atténuation linéique d'un matériau dépend :

- de l'énergie des photons incidents et de la nature du matériau.
- uniquement de l'énergie des photons incidents.
- uniquement de la nature du matériau.

12. Une épaisseur de 1 cm de plomb est nécessaire pour réduire de 95% l'intensité d'un faisceau de photons de 0,25 MeV. Le coefficient d'atténuation linéique du plomb est :

- 3 cm^{-1}
- $0,5 \text{ mm}^{-1}$
- 5 mm^{-1}

13. La masse volumique du plomb vaut $11,3 \text{ g.cm}^{-3}$. Le coefficient d'atténuation massique du plomb pour des photons de 1,0 MeV est $6,84 \times 10^{-2} \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$.

La CDA du plomb pour ces photons vaut :

- 9 mm
- 10 cm
- $4,2 \times 10^{-3} \text{ cm}$

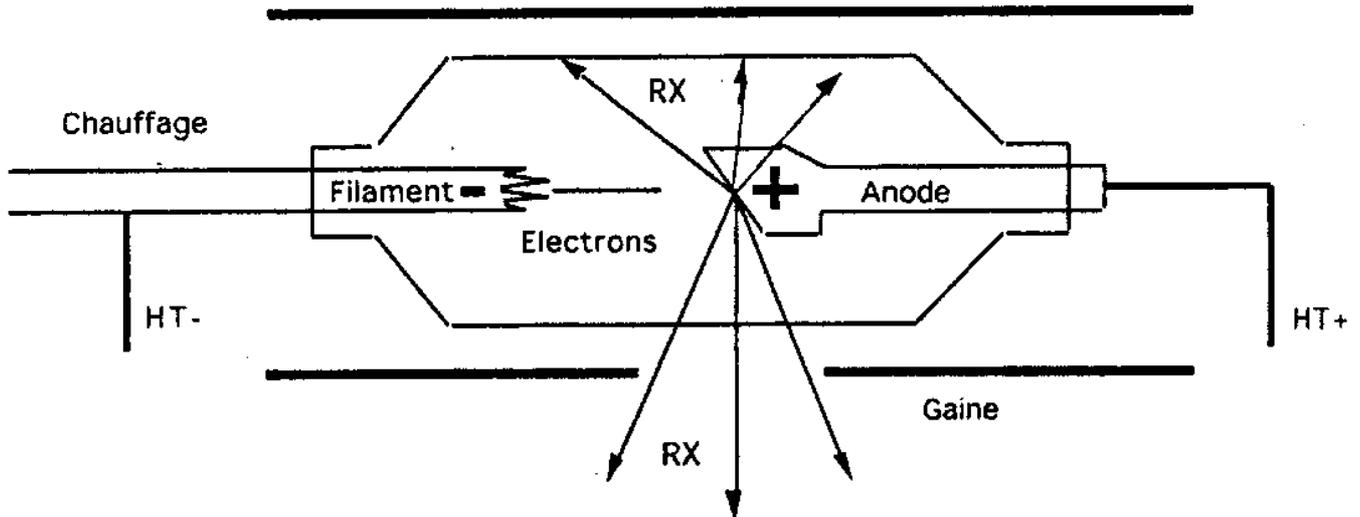
14. Pour des photons de 200 keV, le coefficient d'atténuation massique du platine vaut $0,89 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$; la masse volumique du platine vaut $21,1 \text{ g.cm}^{-3}$.

- ces photons réagissent essentiellement par effet photo électrique avec le platine.
- il faut une épaisseur de 1,0 cm de platine pour atténuer le faisceau d'un facteur 1000.
- il faut une épaisseur de 1,0 cm de platine pour atténuer le faisceau d'un facteur 2.

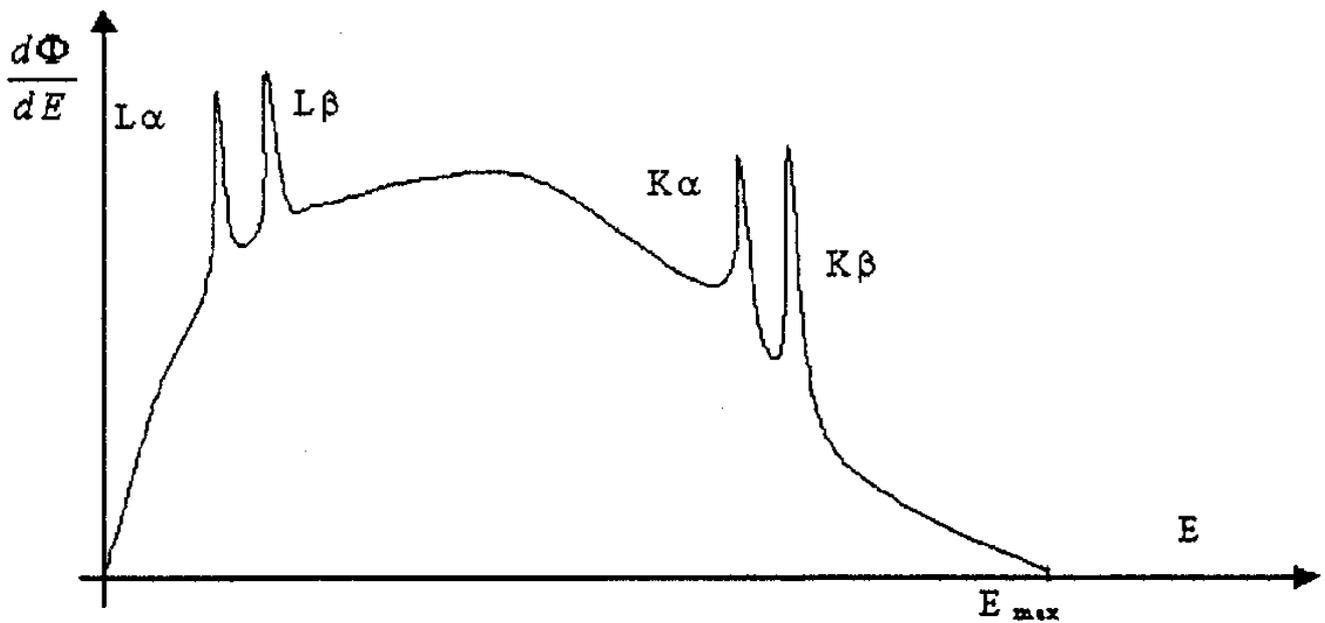
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
a														
b														
c														

Partie 1 : Q2 Examen radiologique et examen échographique

1. EXAMEN RADIOLOGIQUE



Un tube de Coolidge, dont le schéma est proposé ci-dessus, est alimenté par une tension $U = 75 \text{ kV}$. On donne un exemple de spectre des rayons X produits.



On donne :

Milieu	Muscle	Os
Coefficient linéique d'atténuation des rayons X utilisés $\mu \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	$\mu_M = 0,233$	$\mu_{OS} = 0,527$

1.1. Donner le nom et décrire le phénomène à l'origine du fond continu du spectre d'émission des rayons X.

1.2. Donner le nom et décrire le phénomène à l'origine de la production des photons qui forment les raies L_α , L_β , K_α , K_β .

1.3. Donner la signification des notations L_α , L_β , K_α , K_β .

1.4. Donner sans démonstration la relation entre la tension U d'alimentation du tube et l'énergie maximale E_{\max} des rayons X produits.

1.5. En déduire la longueur d'onde minimale λ_{\min} des photons X produits.

1.6. Les photons les plus nombreux ont une longueur d'onde $\lambda = 1,5 \lambda_{\min}$; calculer l'énergie de ces photons en keV.

1.7. Calculer le pourcentage de rayons X qui traverse 2 cm de muscle.

1.8. Calculer le pourcentage de rayons X qui traverse 2 cm d'os.

1.9. Calculer le contraste radiologique C entre les milieux muscle-os, donné par la relation :

$$C = \frac{e^{-\mu_M x} - e^{-\mu_{OS} x}}{e^{-\mu_M x} + e^{-\mu_{OS} x}}$$

1.10. Commenter le résultat ; le contraste radiologique est-il suffisant ?

2. EXAMEN ÉCHOGRAPHIQUE

On utilise des ultrasons de fréquence 1,0 MHz à la même interface muscle-os (on négligera l'épaisseur de la peau et de la graisse)

On donne :

Milieu	coefficient d'atténuation des ultrasons de fréquence 1 MHz (m^{-1})	Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	Célérité des ultrasons ($m.s^{-1}$)
Muscle	26,2	$1,04 \times 10^3$	1580
Os	263	$1,65 \times 10^3$	4000

2.1. Calculer les impédances acoustiques Z_M du muscle et Z_{OS} de l'os.

2.2. On rappelle que les coefficients de réflexion et de transmission d'une onde ultrasonore arrivant perpendiculairement à la surface entre deux milieux sont donnés par les relations :

$$R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2} \quad \text{et} \quad T = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Calculer les coefficients de réflexion et de transmission à l'interface muscle-os.

2.3. La sonde envoie une salve d'ultrasons d'intensité acoustique I_0 dans le milieu constitué de 2 cm de muscle puis 2 cm d'os. Calculer les durées qui séparent l'émission de la salve de la réception des 2 échos dus au deux interfaces (muscle / os et os / muscle)

2.4. Calculer les intensités acoustiques des deux échos reçus par la sonde, exprimées en pourcentage de I_0 . Comparer et commenter les résultats.

3. COMPARAISON DES DEUX MODES D'EXAMEN.

En tenant compte des résultats précédents, comparer les deux modes d'examen

Partie 2 : Problème

Les 3 parties sont indépendantes.

I. LE CYCLOTRON ARRONAX.

Un cyclotron est un instrument qui sert à accélérer des particules chargées, permettant ensuite de réaliser des expériences de physique nucléaire. Dans ce problème les particules chargées sont des protons.

Le cyclotron est formé de deux demi-cylindres conducteurs creux appelés « dees » et séparés par un intervalle étroit. Un champ magnétique uniforme de valeur 1,5 T, règne à l'intérieur de chaque « dees », sa direction est perpendiculaire au plan de la figure 2 ci-dessous.

Un champ électrique \vec{E} , variable dans le temps, peut être établi dans l'intervalle étroit qui sépare les « dees ». Il permet d'augmenter la vitesse des protons chaque fois qu'ils pénètrent dans cet intervalle. Le champ électrique est nul à l'intérieur des « dees ». On négligera la durée du transit entre les deux « dees ».

Le champ électrique variable est obtenu en appliquant une tension sinusoïdale entre les deux « dees », de valeur maximale $U_M = 50 \text{ kV}$ et de fréquence f .

On injecte un proton au point O avec une vitesse négligeable. Il est alors accéléré par le champ électrique et pénètre dans le « dee » D_1 au point A avec une vitesse \vec{v} . (On considère que le poids du proton est négligeable devant les autres forces en présence).

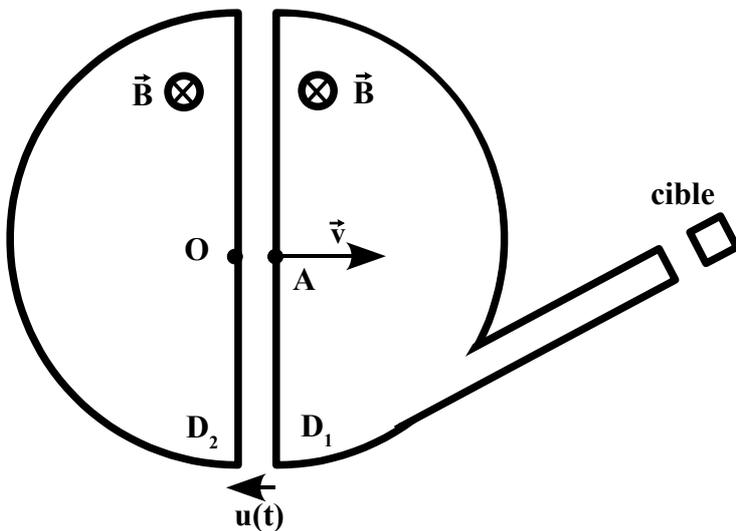


Schéma simplifié du cyclotron

Le schéma est représenté sans souci d'échelle

On démontre, (et on admet dans le problème), que le mouvement du proton dans un « dee » est circulaire et uniforme. Le rayon R de la trajectoire est lié à la vitesse v du proton par la relation $R = \frac{m_p v}{eB}$

1. Donner le nom et l'expression vectorielle de la force à l'origine du mouvement circulaire uniforme à l'intérieur d'un « dee ». Représenter, sans souci d'échelle, à l'entrée du « dee » D_1 au point A de la figure 1, (en fin de sujet), en justifiant la réponse.

2. Compléter cette figure, en représentant l'allure de la trajectoire d'un proton émis avec la vitesse v , jusqu'à sa sortie du cyclotron après un nombre de tours arbitrairement choisis. (Aucun calcul n'est demandé).

3. Le rayon maximal de la trajectoire semi-circulaire dans le « dee » vaut $R_m = 0,67 \text{ m}$. Calculer alors la vitesse maximale v_m puis l'énergie cinétique maximale E_{max} (en J et en MeV) du proton à la sortie du cyclotron. (On considérera pour simplifier le proton comme non relativiste).

4. Établir l'expression littérale de la durée d'un demi-tour dans un « dee ». Calculer sa valeur.

5. Calculer, en justifiant, la fréquence f en MHz de la tension sinusoïdale.

II. PRODUCTION ET UTILISATION DU SCANDIUM 44.

1. Grâce à ces protons de haute énergie, le noyau de scandium 44 est obtenu à partir de calcium 44 selon la réaction de production notée $^{44}\text{Ca} (p, n) ^{44}\text{Sc}$

Écrire l'équation de cette réaction nucléaire.

2. Le noyau d'un atome de scandium 44 s'écrit $^{44}_{21}\text{Sc}$.

2.1. Donner la configuration électronique de plus basse énergie de l'atome de scandium 44.

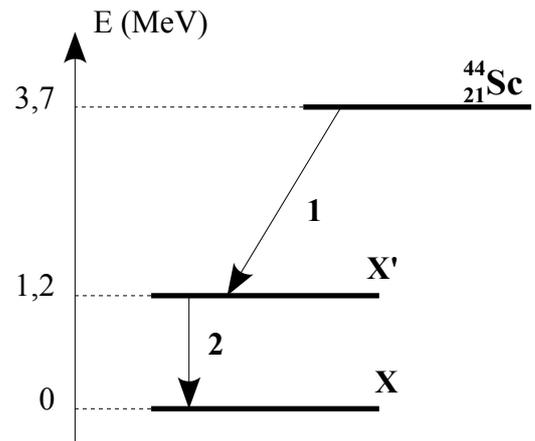
2.2. Situer l'élément scandium dans la classification périodique à 18 colonnes.

3. Le schéma de la désintégration du noyau de scandium 44 est représenté ci contre :

3.1. Écrire l'équation de la désintégration β^+ du noyau de scandium 44 symbolisée par la flèche 1, en précisant le symbole du noyau obtenu.

3.2. Écrire l'équation de la transformation de X' en X . De quelle nature est le rayonnement émis ? Calculer son énergie.

3.3. Le scandium 44 a un temps de demi-vie (période radioactive) $T = 4,0$ heures. Que signifie cette donnée ?



4. Des études sont actuellement menées en TEP (tomographie par émission de positons) pour développer une technique employant du scandium 44.

Pourquoi lit-on dans les revues le terme de « TEP 3 gammas » ? Justifier la réponse.

III. α IMMUNOTHÉRAPIE AVEC L'ASTATE 211.

Le cyclotron ARRONAX accélère aussi des particules α qui permettent d'obtenir des noyaux d'astate 211 qui s'écrivent $^{211}_{85}\text{At}$. Ces noyaux sont radioactifs α et ont une demi-vie (période radioactive) $T = 7,2$ h.

1. L'équation de production de ces noyaux s'écrit $^{209}_{83}\text{Bi} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{211}_{85}\text{At} + 2^1_0\text{n}$. Écrire cette équation sous la forme symbolique proposée au paragraphe II.1.

2. Écrire l'équation de la désintégration et de l'astate 211 en identifiant le noyau obtenu.

3. On injecte à un patient un échantillon d'activité 10 mCi contenant de l'astate 211.

3.1. Calculer dans le système international d'unités, la constante radioactive de l'astate 211.

3.2. Calculer le nombre de noyaux d'astate 211 injectés au patient.

4. La particule α est émise avec une énergie cinétique $E = 6,78$ MeV. Dans une tumeur cancéreuse on supposera, en première hypothèse, que le transfert d'énergie linéique (TEL) de ces particules α vaut $120 \text{ keV} / \mu\text{m}$.

4.1. Calculer la distance parcourue par ces particules α . Comparer cette distance au diamètre d'une cellule cancéreuse (égal à environ $20 \mu\text{m}$).

4.2. L'énergie moyenne nécessaire pour former une paire d'ions dans l'eau vaut $w = 32$ eV. Calculer le nombre total d'ionisations I provoquées par une particule α dans la tumeur en assimilant les cellules cancéreuses à de l'eau.

4.3. En déduire l'ionisation spécifique (ou densité d'ionisation linéique) I_s .

4.4. L'hypothèse d'un T.E.L. constant est-elle réaliste ? Justifier la réponse.

