

Diplôme de Technicien Supérieur en Imagerie Médicale et Radiologie Thérapeutique

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

L'utilisation de la calculatrice est autorisée

Le sujet comporte 8 pages dont un document réponse (page 8) à rendre avec la copie

PHYSIQUE

PREMIÈRE PARTIE : CONTRÔLE DE CONNAISSANCES (30 points)

Données :

- Constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$
- Célérité de la lumière : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- Charge élémentaire : $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Q1. QUESTIONNAIRE À CHOIX MULTIPLES (12 points)

Chaque question possède au moins une réponse vraie. Pour chacune des questions, répondre par vrai (V) ou faux (F) en remplissant le document réponse de la page 8.

1. Une particule chargée est placée dans un champ électrique constant perpendiculaire à sa vitesse initiale :

- a) elle prend une trajectoire circulaire
- b) elle prend une trajectoire rectiligne.
- c) elle prend une trajectoire parabolique.
- d) elle accélère.

2. Un condensateur plan crée entre ses deux plaques un champ électrique :

- a) parallèle aux plaques
- b) perpendiculaire aux plaques
- c) proportionnel à la distance entre les plaques.
- d) proportionnel à la tension appliquée entre les plaques.

3. Soit un condensateur plan dont les plaques sont distantes de 3,0 cm dans le vide. La tension appliquée entre les plaques est $U = 1,5 \text{ kV}$. La valeur E du champ électrique entre les plaques est :

- a) $1,5 \text{ kV.m}^{-1}$
- b) $4,5 \text{ kV.cm}^{-1}$
- c) 50 kV.m^{-1}
- d) 500 V.cm^{-1}

4. L'accélération d'un électron de charge $-e$, soumis à un champ électrique E constant a pour norme :

- a) $a = mE / e$
- b) $a = -mE / e$
- c) $a = eE / m$
- d) $a = em / E$

5. Un champ magnétique uniforme perpendiculaire à la vitesse d'une particule chargée :
- a) communique une énergie cinétique importante à la particule.
 - b) maintient la particule sur une trajectoire circulaire.
 - c) maintient la particule dans un même plan.
 - d) freine la particule.

6. Entre les dees d'un cyclotron, la tension électrique appliquée :
- a) conserve la même valeur et le même signe.
 - b) change de signe et conserve la même valeur.
 - c) change de valeur et de signe.
 - d) est alternative.

7. La durée du parcours d'une particule chargée dans un dee d'un cyclotron :
- a) dépend de la vitesse d'entrée de la particule dans le dee.
 - b) ne dépend pas de la charge de la particule.
 - c) dépend de la valeur du champ magnétique.
 - d) dépend de la masse de la particule.

8. Un circuit RLC série avec $R = 1000 \Omega$, $L = 0,7 \text{ H}$ et $C = 1,0 \mu\text{F}$ est alimenté par une tension sinusoïdale $u(t) = 15 \sin(1000\pi t + \pi/3)$, $i(t)$ étant pris à l'origine des phases.

On donne $Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$

8.1. La tension d'alimentation :

- a) a une fréquence de 1000 Hz
- b) a une valeur efficace de 15 V
- c) a une pulsation de $1000\pi \text{ rad.s}^{-1}$
- d) a une période de 2 ms

- 8.2.
- a) L'avance de phase φ de la tension par rapport à l'intensité vaut $+\pi/3 \text{ rad}$
 - b) L'avance de phase φ de la tension par rapport à l'intensité vaut $-\pi/3 \text{ rad}$
 - c) $u(t)$ est en avance sur $i(t)$
 - d) Le circuit est capacitif

8.3. L'impédance :

- a) du condensateur dépend de la fréquence imposée par la tension d'alimentation
- b) aux bornes du circuit RLC vaut 700Ω
- c) aux bornes du circuit RLC est minimale à une fréquence $f = 190 \text{ Hz}$
- d) de la bobine est proportionnelle à la fréquence f de la tension d'alimentation

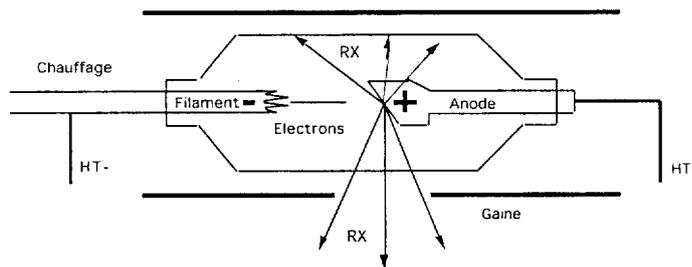
Q2. EXAMEN RADIOLOGIQUE ET EXAMEN ECHOGRAPHIQUE (18 points)

Données :

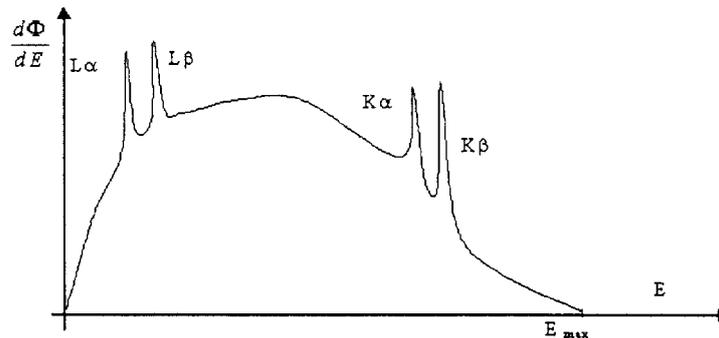
- Constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$
- Célérité de la lumière : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- Charge élémentaire : $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

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

I. 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 :



- I.1. Expliquer le phénomène à l'origine du fond continu du spectre d'émission des rayons X.
- I.2. Expliquer le phénomène à l'origine de la production de photons d'énergie donnée qui forment les raies $L_\alpha, L_\beta, K_\alpha, K_\beta$.
- I.3. Que signifient les notations $L_\alpha, L_\beta, K_\alpha, K_\beta$?
- I.4. Donner sans démonstration la relation entre la tension U d'alimentation du tube et l'énergie maximale E_{max} des rayons X produits
- I.5. En déduire la longueur d'onde minimale λ_{min} des photons X produits.
- I.6. Sachant que les photons les plus nombreux ont une longueur d'onde $\lambda = 1,5 \times \lambda_{min}$, calculer l'énergie de ces photons en keV.
- I.7. Calculer le pourcentage de rayons X qui traverse 2 cm de muscle.
- I.8. Calculer le pourcentage de rayons X qui traverse 3 cm d'os.
- I.9. Calculer le contraste radiologique C entre les milieux muscle-os si les rayons X traversent 2 cm de muscle ou 3 cm d'os, sachant que C est donné par la relation :

$$C = \frac{e^{-\mu_m x} - e^{-\mu_{os} x}}{e^{-\mu_m x} + e^{-\mu_{os} x}}$$

- I.10. D'après ces résultats, estimez-vous le contraste radiologique suffisant ?

II. EXAMEN ECHOGRAPHIQUE

On utilise des ultrasons de fréquence 1 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	L'avance de phase 26,2	$1,04.10^3$	1580
Os	263	$1,65.10^3$	4000

II.1. Calculer les impédances acoustiques Z_m du muscle et Z_{os} de l'os.

II.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 :

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

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

II.3. La sonde envoie une salve d'ultrasons d'intensité acoustique I_0 dans le milieu constitué de 2 cm de muscle puis 3 cm d'os. Calculer la durée qui sépare l'émission de la salve de la réception de l'écho dû à l'interface muscle-os ?

II.4. Calculer l'intensité acoustique de l'écho reçu par la sonde exprimée en pourcentage de I_0 .

DEUXIEME PARTIE : PROBLEME (30 points)

Données :

- Constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$
- Célérité de la lumière : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- Charge élémentaire : $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- Masse de l'électron : $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 5,48 \cdot 10^{-4} \text{ u}$
- $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$
- Coefficient d'atténuation μ de photons d'énergie 103 keV dans le plomb : $\mu = 6,93 \cdot 10^3 \text{ m}^{-1}$
- Energie nécessaire pour former une paire d'ions dans l'eau : $\bar{\omega} = 33 \text{ eV}$

Atome	Rb (Rubidium)	Sr (Strontium)	Y (Yttrium)	Pm (Prométhéum)	Sm (Samarium)	Eu (Europium)
Numéro atomique Z	37	38	39	61	62	63
Masse du noyau en u de l'isotope indiqué	Rb-89 88,885327	Sr-89 88,889 606	Y-89 88,884 476	Pm-153 152,886548	Sm-153 152,887 604	Eu-153 152,886 702
Demi-vie					46 h	

I- RADIOTHERAPIE METABOLIQUE DES METASTASES OSSEUSES

Le principe de la radiothérapie métabolique des métastases osseuses repose sur l'utilisation de radioéléments émetteurs β^- à tropisme osseux. Un effet antalgique est obtenu dans 75 % des cas, tandis que leur activité anti-tumorale est possible mais non prouvée.

Les différents radioéléments utilisés sont le strontium-89 qui est un émetteur β^- sans γ et le samarium-153 qui est émetteur β^- et γ .

I.1. Rappeler les lois de conservation observées lors d'une désintégration nucléaire spontanée.

I.2. Ecrire l'équation de désintégration nucléaire du :

I.2.1. Strontium-89

I.2.2. Samarium-153

I.3. Calculer l'énergie libérée lors de la désintégration du :

I.3.1 Strontium-89

I.3.2. Samarium-153

I.4. Pour le samarium-153 :

I.4.1. Lors de la désintégration du samarium-153, il y a émission d'un photon γ d'énergie $E(\gamma) = 103 \text{ keV}$. Expliquer le phénomène à l'origine de cette émission γ .

I.4.2. Calculer l'énergie cinétique maximale des particules β^- lorsqu'un photon γ de 103 keV est émis

I.4.3. Comment peut interagir une particule β^- dans les tissus biologiques ?

I.4.4. Sachant que le parcours moyen des particules β^- d'énergie 200 keV dans les tissus biologiques (assimilables à de l'eau) est d'environ $R = 5,0 \text{ mm}$, calculer :

I.4.4.a. Le TEL moyen maximal des particules β^- .

I.4.4.b. L'ionisation totale I_t provoquée par une particule β^- .

I.4.4.c. L'ionisation spécifique (ou densité d'ionisation linéique) I_s .

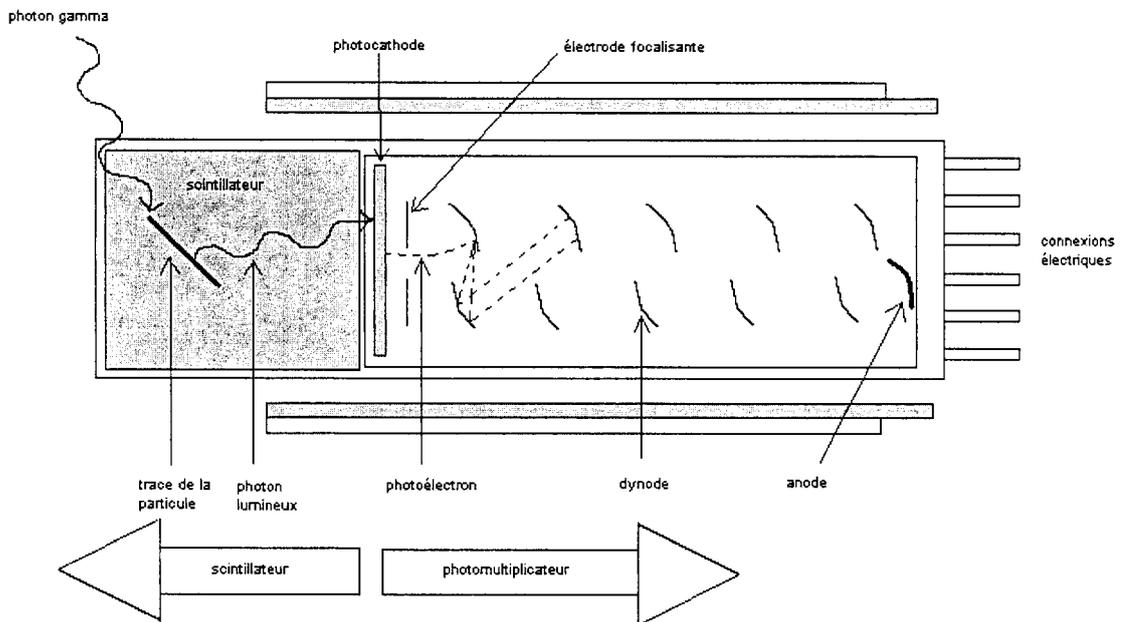
II- SCINTIGRAPHIE OSSEUSE

Outre le technétium-99m, le samarium-153 permet aussi de réaliser une scintigraphie osseuse. Le Sm-153 se trouve en unidoses de 15 mL livrées avec une activité initiale $A_0 = 20 \text{ GBq}$. La scintigraphie nécessite une dose de 370 MBq pour 10 kg de masse corporelle.

- II.1. En supposant que le flacon de solution contenant le samarium-153 soit en plomb, calculer l'épaisseur minimale du flacon pour arrêter 99 % des photons γ d'énergie $E(\gamma) = 103 \text{ keV}$.
- II.2. Calculer le temps au bout duquel le flacon ne présente plus qu'une activité de 3 GBq.
- II.3. Calculer le volume de solution nécessaire pour effectuer cette scintigraphie sur un patient de 70 kg. (on prend une unidose d'activité $A_0 = 20 \text{ GBq}$)

III- DETECTION DES PHOTONS AVEC UNE GAMMA-CAMERA D'ANGER

La gamma-caméra utilisée dans le domaine médical est la caméra d'Anger, constituée d'un détecteur à scintillations : un cristal d'iodure de sodium contenant des impuretés de Thallium, couplé à un photomultiplicateur :



Photoélectron = électron extrait par effet photoélectrique.

III.1. Scintillateur à iodure de sodium NaI dopé au Thallium

L'iodure de sodium NaI dopé au thallium est un cristal scintillateur. Son numéro atomique effectif est $Z = 50$.

III.1.1. Définir les grandeurs et leur unité à porter sur les axes du graphique 1 reproduit sur le document à rendre avec la copie (page 8).

III.1.2. En vous aidant du graphique 1, préciser l'interaction prédominante des photons γ d'énergie $E = 103 \text{ keV}$ dans le scintillateur.

III.1.3. Décrire à l'aide de schémas annotés les effets photoélectrique, Compton et de matérialisation.

III.1.4. Sous l'effet d'un photon γ , des atomes de thallium se trouvent dans des états excités d'énergie de -3 eV . Sachant que le niveau fondamental d'énergie pour l'atome de thallium est de -6 eV , calculer la longueur d'onde du photon émis lors du passage d'un électron du niveau excité au niveau fondamental. A quel domaine des ondes électromagnétiques ce photon appartient-il ?

III.2. Photomultiplicateur

Le photomultiplicateur transforme les photons issus du scintillateur en signaux électriques (se référer au schéma page précédente).

Ces photons, de longueur d'onde $\lambda = 414 \text{ nm}$, arrachent à la photocathode des "photoélectrons" (cf schéma) qui sont ensuite focalisés sur la première dynode. Le rendement quantique (rapport du nombre de photoélectrons émis au nombre de photons reçus) de cette photocathode est de 20 %.

Chaque électron frappant une dynode provoque l'émission de plusieurs électrons dits électrons secondaires. Chaque dynode multiplie par $K = 5$ le nombre d'électrons reçus.

Le photomultiplicateur comporte 10 dynodes. Les électrons émis par cette dixième dynode arrivent sur l'anode et génèrent le courant anodique dont l'intensité est de 24,0 mA.

III.2.1. Calculer le nombre d'électrons (N_{e_A}) collectés par l'anode par seconde.

III.2.2. Calculer le nombre d'électrons (N_{e_P}) émis par la photocathode par seconde.

III.2.3. Calculer le nombre de photons (N_{p_P}) reçus par la photocathode par seconde.

III.2.4. En déduire la puissance du rayonnement reçu par la photocathode.

DOCUMENT REPONSE (à rendre avec la copie)

Q1. QUESTIONNAIRE A CHOIX MULTIPLES

Question N°	a)	b)	c)	d)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8.1				
8.2				
8.3				

Graphique 1 :

