IMRT3 : DEVOIR 4 : 1213

PREMIÈRE PARTIE : CONTRÔLE DES CONNAISSANCES (30 points)

Données :
Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s
Célérité de la lumière : $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1}
Charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C

Q1 : Questions à choix multiples (10 points)

Pour chacune des propositions des différents paragraphes, répondre par vrai (V) ou faux (F) en remplissant le document réponse de la page 2.

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 kV. La valeur E du champ électrique entre les plaques est :
   a) 1,5 kV.m^{-1}
   b) 4,5 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 $R = 1000\ \Omega$, $L = 0{,}7\ H$ et $C = 1{,}0\ \mu F$ est alimenté par une tension sinusoïdale $u(t) = 15 \sin(1000\pi t + \pi/3)$, i(t) imposant l'origine des phases.

On donne l'expression de l'impédance du circuit : $Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$

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 1000π 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 $+\pi/3$ rad.
   b) L'avance de phase φ de la tension par rapport à l'intensité vaut $-\pi/3$ rad.
   c) u(t) est en avance sur i(t).
   d) Le circuit est capacitif.

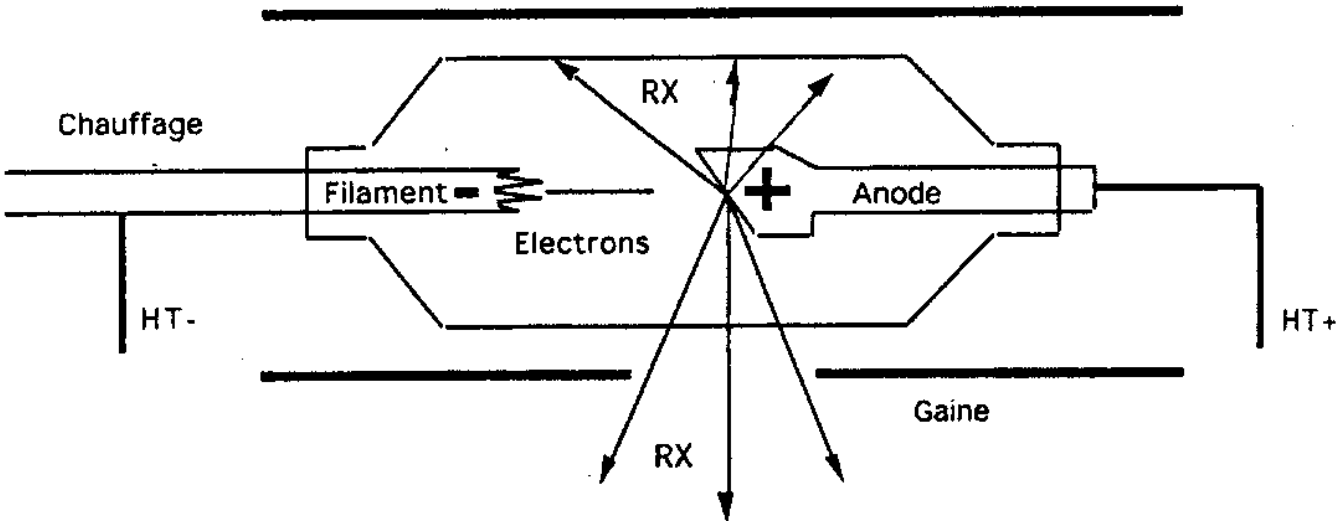
8.3. L'impédance :
   a) du condensateur dépend de la fréquence imposée par la tension d'alimentation
   b) du circuit RLC vaut 700 Ω
   c) du circuit RLC est minimale à une fréquence f = 190 Hz
   d) de la bobine est proportionnelle à la fréquence f de la tension d'alimentation

Réponses du QCM

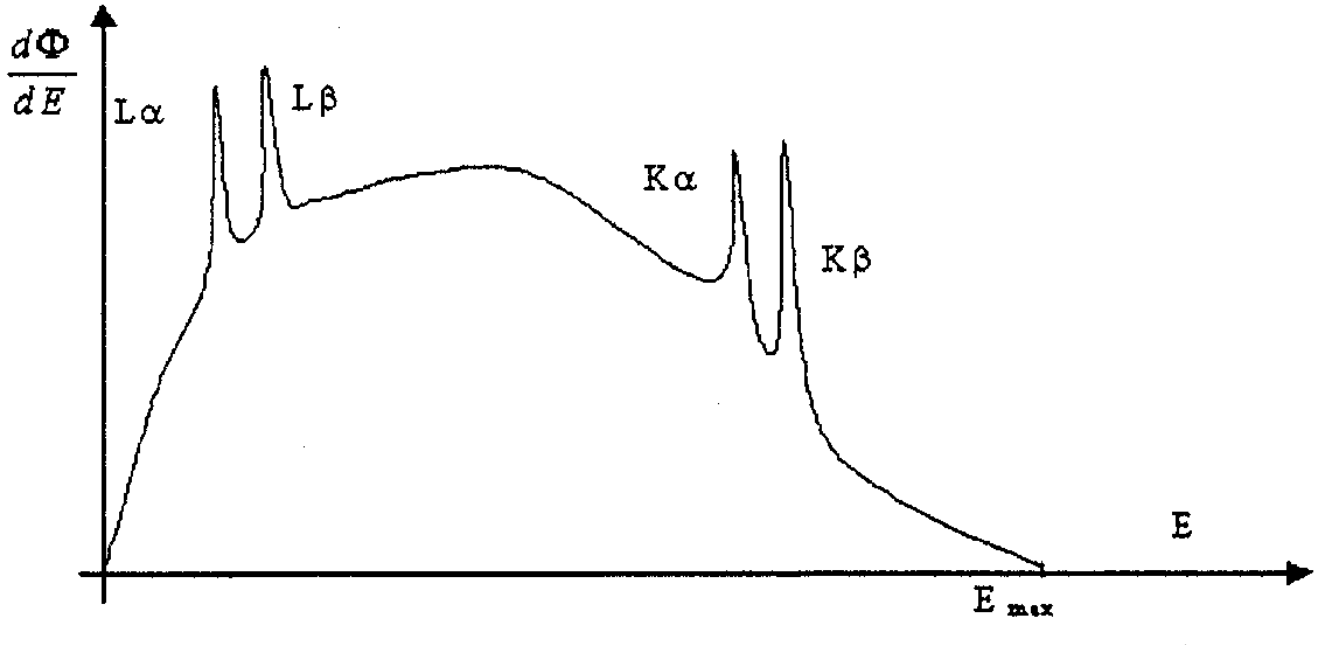
	1	2	3	4	5	6	7	8.1	8.2	8.3
A										
B										
C										
D										

Q2. Examen radiologique et examen échographique (20 points)

1. EXAMEN RADIOLOGIQUE



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



On donne :

Milieu	Muscle	Os
Coefficient linéique d'atténuation des rayons X utilisés μ (cm^{-1})	μ_M = 0,233	μ_{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 reçu par la sonde, exprimées en pourcentage de I_0. Commenter les résultats.

3. COMPARAISON DES DEUX MODES D'EXAMEN.

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

DEUXIÈME PARTIE : PROBLÈME (30 points)

Données :
Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s
Célérité de la lumière : $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1}
Charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C
Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg $= 5{,}48 \times 10^{-4}$ u
1 u = 931,5 MeV/c^2
Coefficient d'atténuation μ de photons d'énergie 103 keV dans le plomb : $\mu = 6{,}93 \times 10^{3}$ m^{-1}
Énergie nécessaire pour former une paire d'ions dans l'eau : w = 33 eV

	Rb (Rubidium)	Sr (Strontium)	Y (Yttrium)	Pm (Prométhéum)	Sm (Samarium)	Eu (Europium)
numéro atomique	37	38	39	61	62	63
	Rb-89	Sr-89	Y-89	Pm-153	Sm-153	Eu-153
Masse du **noyau** (en u) de l'isotope indiqué	88,885 327	88,889 606	88,884 476	152,886 548	152,887 604	152,886 702
demie vie					46 h	

1. RADIOTHÉRAPIE MÉTABOLIQUE DES MÉTASTASES 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.

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

1.2. Écrire l'équation de désintégration nucléaire du :
1.2.1. Strontium-89
1.2.2. Samarium-153

1.3. Calculer l'énergie libérée lors de la désintégration du :
1.3.1. Strontium-89
1.3.2. Samarium-153

1.4. Pour le samarium-153 :
1.4.1. Lors de la désintégration du samarium-153, il y a émission d'un photon γ d'énergie E(γ) = 103 keV. Décrire le phénomène à l'origine de cette émission γ.
1.4.2. Calculer l'énergie cinétique maximale des particules β- lorsqu'un photon γ de 103 keV est émis.
1.4.3. Décrire le mode d'interaction d'une particule β- dans les tissus biologiques.
1.4.4. 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 mm ; calculer :
I.4.4.a. Le TEL moyen maximal des particules β-
I.4.4.b. L'ionisation totale I_C provoquée par une particule β-.
I.4.4.c. L'ionisation spécifique (ou densité d'ionisation linéique) I_S.

2. 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 $A_0 = 20$ GBq. La scintigraphie nécessite une dose de 370 MBq pour 10 kg de masse corporelle.

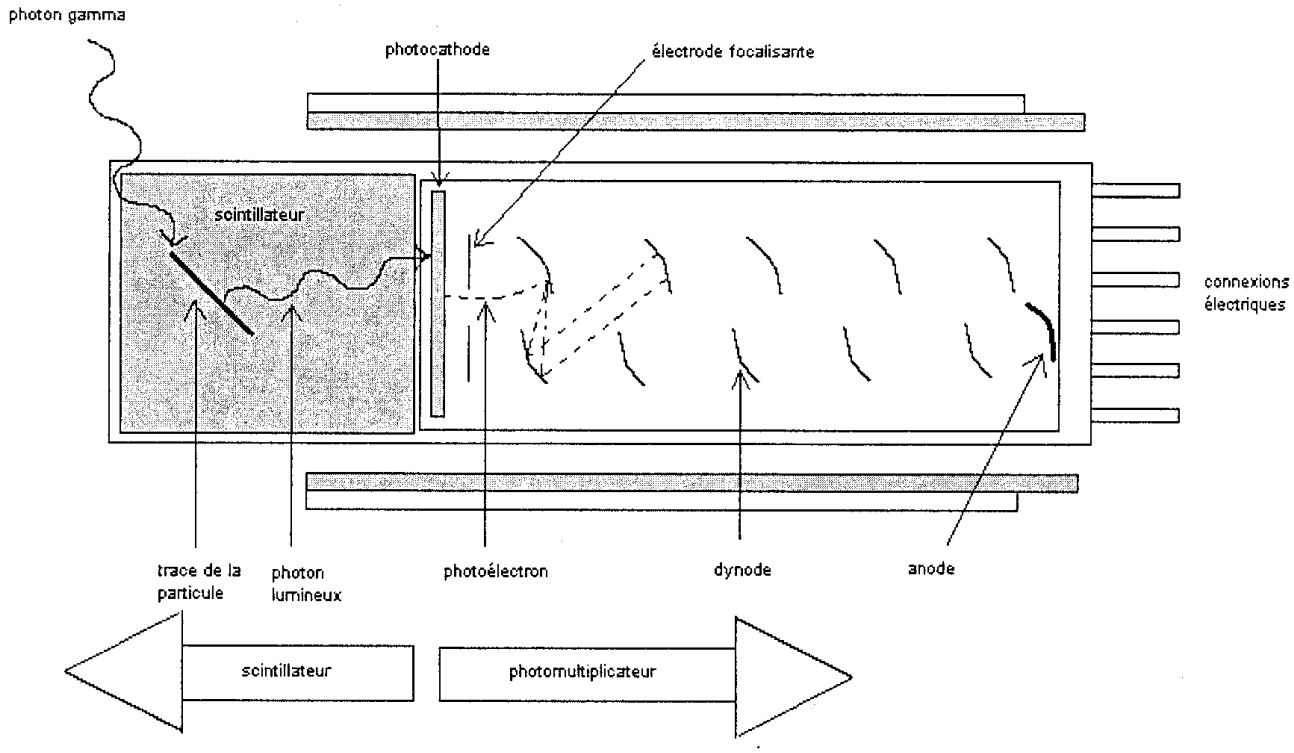
2.1. En supposant que le flacon de solution contenant le samarium-153 soit en plomb, calculer l'épaisseur minimale du flacon pour arrêter 99% des photons γ d'énergie E(γ) = 103 keV.

2.2. Calculer la durée pour laquelle le flacon ne présente plus qu'une activité de 3 GBq.

2.3. Calculer le volume de solution nécessaire pour effectuer cette scintigraphie sur un patient de 70 kg. (on prend une unidose d'activité $A_0 = 20$ GBq).

3. DÉTECTION 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.

3.1. 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.

3.1.1. Définir les grandeurs et leurs unités à porter sur les axes du graphique reproduit en fin de texte.

3.1.2. À l'aide de ce graphique, préciser l'interaction prédominante des photons γ d'énergie E = 103 keV dans le scintillateur.

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

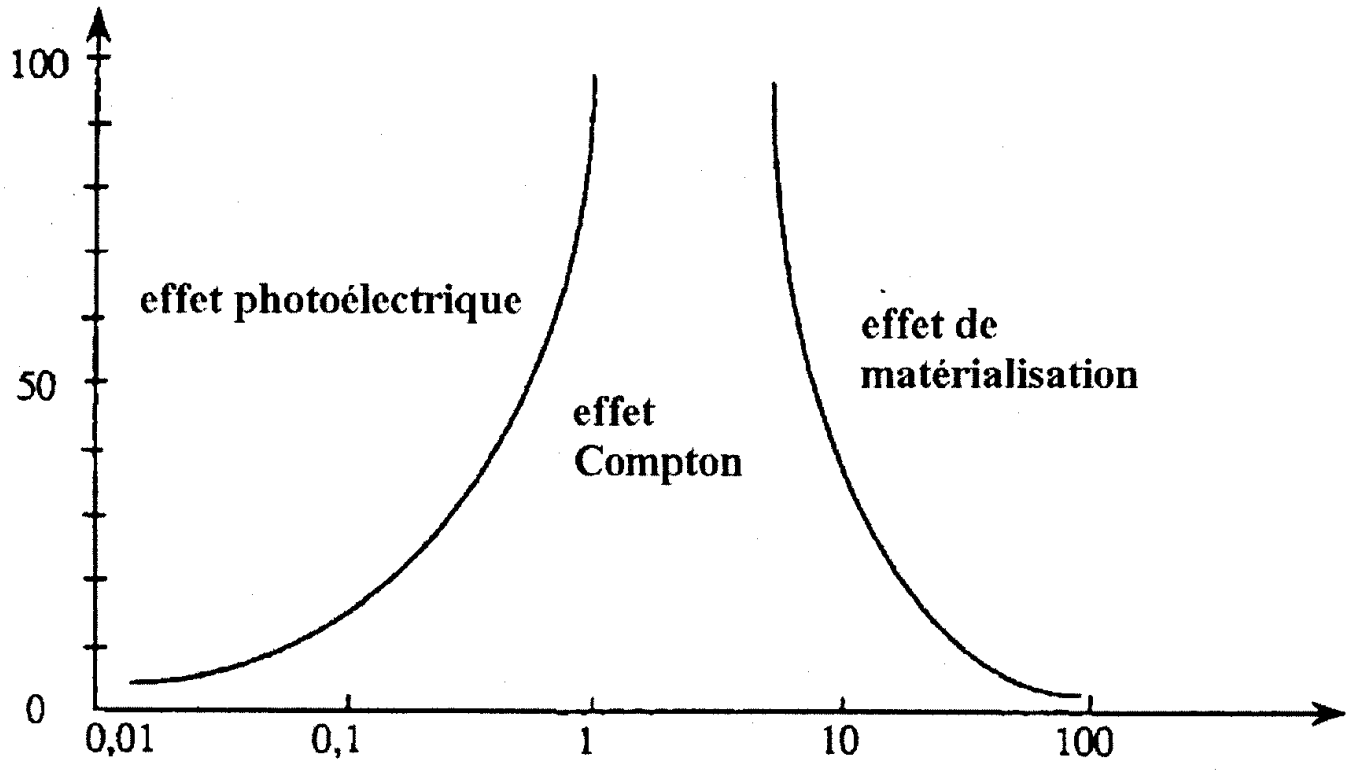
3.1.4. Sous l'effet d'un photon γ , des atomes de thallium se trouvent dans des états excités d'énergie de -3 eV. Sachant que le niveau fondamental d'énergie pour l'atome de thallium est de -6 eV , calculer la longueur d'onde du photon émis lors du passage d'un électron du niveau excité au niveau fondamental.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

3.2. Photomultiplicateur.

Le photomultiplicateur transforme les photons issus du scintillateur en signaux électriques (se référer au schéma page précédente).
Ces photons, de longueur d'onde $\lambda = 414$ 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 un courant anodique d'intensité I = 24,0 mA.

3.2.1. Relier l'expression du débit d'électrons circulant dans l'anode avec l'intensité du courant anodique ; En déduire le nombre d'électrons (Ne_A) collectés par l'anode en une seconde.

3.2.2. Calculer le nombre d'électrons (Ne_p) émis par la photocathode en une seconde.

3.2.3. Calculer le nombre de photons (Np_p) reçus par la photocathode en une seconde.

3.2.4. En déduire la puissance du rayonnement reçu par la photocathode.