

*Les données sont en italique. L'utilisation de la calculatrice est autorisée. Le sujet comporte 7 pages.
L'ANNEXE PAGE 7 EST À RENDRE AVEC LA COPIE.*

PREMIÈRE PARTIE : CONTRÔLE DES CONNAISSANCES

Q1. QUESTIONNAIRE À CHOIX MULTIPLES (15 points)

Les propositions faites pour chaque question peuvent être vraies ou fausses. Compléter le document réponse de la feuille ANNEXE, PAGE 7, A RENDRE AVEC LA COPIE, pour chacune des propositions: par (V) si elle est vraie ou par (F) si elle est fausse.

Il y a toujours au moins une réponse vraie. Aucune justification n'est demandée.

Données :

Charge élémentaire :

$$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C.}$$

Masse d'un électron:

$$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0,511 \text{ MeV}.c^{-2}.$$

1. On fait pénétrer des électrons, de vitesse initiale \vec{v}_0 , dans une zone où règne un champ électrique \vec{E} . Le champ est perpendiculaire à \vec{v}_0 .

- Les électrons auront un mouvement rectiligne et uniformément varié.*
- Les électrons auront un mouvement circulaire et uniforme.*
- Les électrons auront un mouvement parabolique.*

2. On fait pénétrer des électrons, de vitesse initiale v_0 , dans une zone où règne un champ magnétique. Le champ est perpendiculaire à v .

- Les électrons auront un mouvement rectiligne et uniforme.*
- Les électrons auront un mouvement rectiligne et uniformément varié.*
- Les électrons auront un mouvement circulaire et uniforme.*

3. On envoie un faisceau homocinétique de neutrons dans un champ magnétique.

- Les neutrons auront une trajectoire rectiligne.*
- Les neutrons auront une trajectoire circulaire avec un rayon constant.*
- Les neutrons auront une trajectoire circulaire avec un rayon qui diminue.*

4. La tension électrique U imposée entre l'anode et la cathode d'un tube à rayons X est de 40 kV. Les électrons sont produits avec une vitesse initiale négligeable.

- La vitesse des électrons au niveau de l'anode est voisine de $1,2 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.*
- Un proton soumis à la même tension aurait une vitesse supérieure à $1,2 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.*
- La variation d'énergie cinétique de chaque électron est de $6,4 \times 10^{-15} \text{ J}$.*

5. Le fond continu du spectre de rayons X a pour origine :

- L'effet photoélectrique.*
- L'effet de freinage exercé par les noyaux des atomes de la cible sur les électrons incidents.*
- La réorganisation électronique.*

6. L'énergie rayonnée par le tube à rayons X :

- Dépend de la nature de l'anode.*
- Est proportionnelle à la tension U imposée.*
- Dépend uniquement de la tension U imposée.*

7. *A propos de l'effet de matérialisation :*

- a. L'énergie du photon incident est voisine de l'énergie de masse de l'électron.
- b. L'énergie du photon incident est supérieure ou égale à 1,022 MeV.
- c. L'une des particules créée s'annihile avec un électron du milieu.

8. *Le coefficient linéique d'atténuation d'un rayonnement X est de 0,43 cm dans le béton.*

- a. La couche de demi-atténuation (CDA) du béton pour ce rayonnement est de 16 mm.
- b. Une épaisseur de béton égale à 4 CDA transmet 25% du flux de ce rayonnement X.
- c. La CDA ne dépend pas de l'énergie des photons incidents.

9. *On considère le diagramme de répartition des nucléides avec le nombre de neutrons en ordonnée et le nombre de protons en abscisse.*

- a. Des nucléides isotopes sont situés sur une ligne verticale.
- b. Des nucléides de même nombre de masse sont situés sur une ligne horizontale.
- c. Tous les nucléides situés au dessus de la bissectrice $N = Z$ sont émetteurs β^- .

10. *Le temps de demi-vie (ou période radioactive) du thallium 201 est de 3,0 jours. Si la quantité de thallium 201, injectée à un patient a pour activité 40 MBq, le nombre de noyaux de thallium 201, injectés est :*

a. $1,5 \times 10^{15}$.

b. $1,5 \times 10^{13}$.

c. $1,7 \times 10^8$.

Q2 :À propos du rayonnement ci. (15 points) -

Données:

constante de Planck :	$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}^{-1}$
célérité de la lumière dans le vide :	$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
charge élémentaire :	$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
Unité de masse atomique	$u = 931,5 \text{ MeV.c}^{-2} = 1,6661 \times 10^{-27} \text{ kg}$
masse d'une particule α	$m_\alpha = 4,0015 \text{ u}$
masse du noyau de bismuth 213	$m(\text{Bi}) = 212,9488 \text{ u}$
masse du noyau de thallium 209	$m(\text{Tl}) = 208,9409 \text{ u}$
La particule α est le noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$	

Des études sont menées sur l'utilisation du rayonnement α dans le traitement de cancers diffus. On injecte un anticorps marqué avec un radionucléide α ; cet anticorps vient se fixer sélectivement sur les cellules tumorales qui sont ainsi détruites. Plusieurs émetteurs α sont testés, en particulier le bismuth 213.

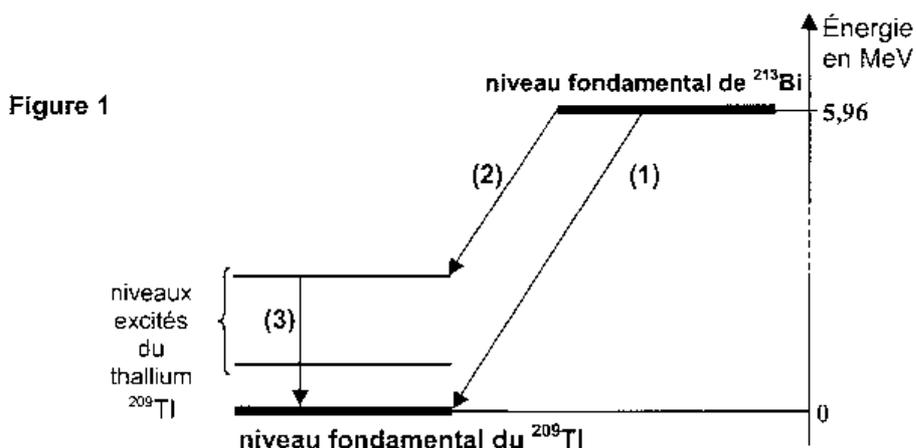
1. Production du bismuth 213.

Le bismuth ${}^{213}_{83}\text{Bi}$ est un descendant de l'actinium ${}^{225}_{88}\text{Ac}$ par désintégrations successives α . L'actinium ${}^{225}_{88}\text{Ac}$ est obtenu en bombardant une cible de radium ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ par un faisceau de protons. Il se forme des noyaux d'actinium avec une émission de neutrons.

- 1.1. Écrire l'équation de la réaction nucléaire entre un proton et un noyau de radium produisant un noyau d'actinium ; donner les lois de conservation qui permettent l'écriture de cette réaction.
- 1.2. Déterminer le nombre de particules α émises lorsqu'un noyau d'actinium 225 conduit à un noyau de bismuth 213.

2. Désintégration α du bismuth 213.

La figure 1 ci-dessous représente le schéma de désintégration α du bismuth 213 en thallium 209.



- 2.2. Exprimer l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau de bismuth 213 puis calculer sa valeur en MeV. Sous quelle(s) forme(s) cette énergie est-elle libérée ?
- 2.3. On néglige l'énergie cinétique du noyau de thallium devant celle de la particule α .

2.3.1. Quelle est la valeur maximale $E_{c_{max}}$ de l'énergie cinétique de la particule α ? Quelle flèche de la figure 1 faut-il lui associer ?

2.3.2. L'énergie cinétique de la particule α peut prendre une autre valeur : 5, 11 MeV. Quelle flèche de la figure I faut-il lui associer ? Calculer l'énergie ΔE_3 de la transition (3).

2.3.3. Calculer la longueur d'onde dans le vide associée à la transition (3).

3. Efficacité du rayonnement α .

Les noyaux de bismuth 213 émettent principalement des particules α d'énergie cinétique $E_c = 5,96$ MeV.

3.1. Le parcours moyen de la particule α dans l'air est $R_1 = 4,6$ cm et sa trajectoire est quasiment rectiligne.

Exprimer puis calculer (en keV. μm^{-1}) le transfert linéique d'énergie (T.L.E.) moyen de la particule α dans l'air.

3.2. Le parcours R d'une particule est inversement proportionnel à la masse volumique ρ du milieu traversé :

$$R \cdot \rho = \text{constante}$$

Calculer le parcours moyen R_2 (exprimé en μm) de la particule α dans les tissus mous dont la masse volumique sera assimilée à celle de l'eau.

Pour l'air $\rho_1 = 1,3 \times 10^{-3} \text{ g.cm}^{-3}$ pour l'eau $\rho_2 = 1,0 \text{ g.cm}^{-3}$.

3.3. Le parcours de la particule α dans les tissus mous vaut environ trois fois le diamètre d'une cellule.

Une tumeur cancéreuse est constituée d'agrégats de cellules malignes séparés par du tissu sain.

Quels avantages présente l'action du rayonnement α sur l'action du rayonnement β - dont le parcours peut être 100 fois plus grand et le T.L.E. 1000 fois plus faible ?

SECONDE PARTIE : PROBLÈME

Échographie - Effet Doppler

Données :

masses volumiques de différents milieux et célérité de l'onde sonore dans ces différents milieux :

Milieu	ρ (en kg.m^{-3})	c (en m.s^{-1})
Air	1,3	$3,4 \times 10^2$
Peau et graisse	$1,0 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$
Os	$1,9 \times 10^3$	$4,0 \times 10^3$

A. Ultrasons.

1. Quelle est la nature des ondes sonores ? Peuvent-elles se propager dans le vide ?
2. À partir de quelle fréquence peut-on qualifier les ondes d'ultrasonores ?
3. Nommer et expliquer brièvement le phénomène qui permet de générer des ultrasons.

B. Impédance acoustique.

1. L'impédance acoustique Z d'un milieu est donnée par la relation :

$$Z = \rho \cdot c$$

où ρ est la masse volumique du milieu et c la célérité du son dans ce même milieu.

Calculer l'impédance acoustique Z de chacun des trois milieux : (air), (peau et graisse), (os).

2. Le coefficient de transmission en énergie pour le passage du son d'un milieu 1 vers un milieu 2, en incidence quasi-normale, est donné par l'expression :

$$\alpha = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

2.1. Calculer les coefficients de transmission en énergie pour les interfaces (air)-(peau et graisse) et (peau et graisse)-(os). Conclure.

2.2. Comment améliorer l'interface (air)-(peau et graisse) ?

C. Échographie.

La sonde fonctionne en mode pulsé. En écho au train d'onde T_1 , on relève deux signaux e_0 et e_1 (figure 2). L'écho e_0 est provoqué par l'interface (gel) / (peau et graisse) et l'écho e_1 par l'interface (peau et graisse) / (os). Une durée $\Delta t = 20,8 \mu s$ séparent les échos e_0 et e_1 . Les célérités des signaux dans les différents milieux sont données dans le tableau figurant dans les données page 4.

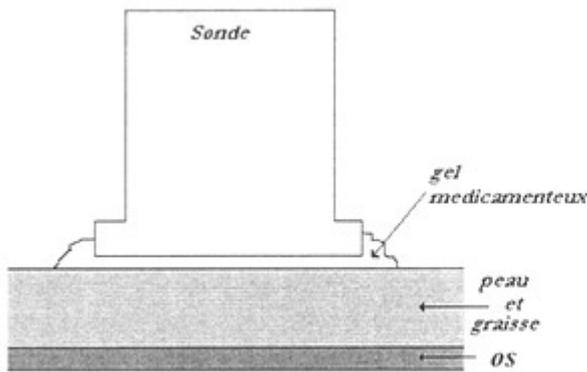


Figure 1

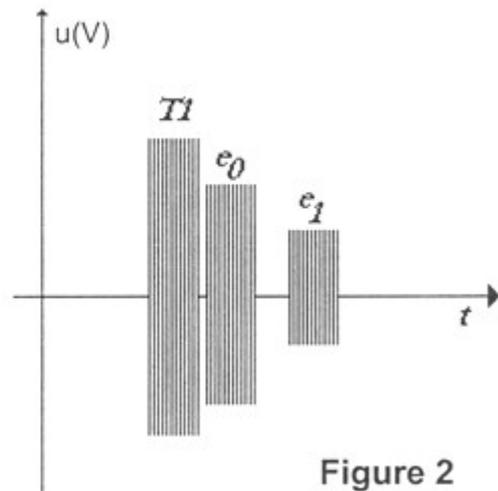


Figure 2

1. On note d la distance entre l'os et la surface de la peau.

1.1. Exprimer littéralement en fonction de d la distance d' parcourue par le signal pour produire l'écho e_1 . Justifier la réponse.

1.2. Déterminer la relation entre d' et Δt puis en déduire la valeur de d .

2. Caractériser qualitativement les échos par rapport au train d'onde T_1 (fréquence, amplitude).

3. Le coefficient linéique d'absorption μ du milieu peau-graisse, à la fréquence utilisée, est de $12,2 m^{-1}$.

3.1. Donner l'expression de l'intensité du signal I en fonction de l'intensité initiale I_0 après traversée d'une épaisseur x du milieu.

3.2. Exprimer l'intensité I' du signal en fonction de l'intensité initiale I après un aller-retour dans le milieu (peau et graisse) d'une épaisseur x . En déduire la valeur du rapport I' / I_0 pour $x = 1,5 \text{ cm}$.

3.3. En réalité le rapport I' / I_0 est inférieur à la valeur précédente. Quel phénomène est à l'origine de cette perte ?

4. Quel est l'intérêt d'utiliser des salves d'ultrasons ?

D. Effet Doppler.

On souhaite mesurer le débit sanguin dans une veine, en mettant à profit l'effet Doppler. La sonde fonctionne en mode pulsé à la fréquence de 4,3 MHz. On se place dans le cas où l'épaisseur du milieu (peau et graisse) est négligeable devant celle de la veine. La célérité des ultrasons dans le sang est de $1,5 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}$

1. Définir succinctement l'effet Doppler.
2. L'écart en fréquence est donné par la relation :

$$f_r - f_0 = \frac{2 v \cos \theta}{c} f_0$$

Définir tous les termes de cette relation.

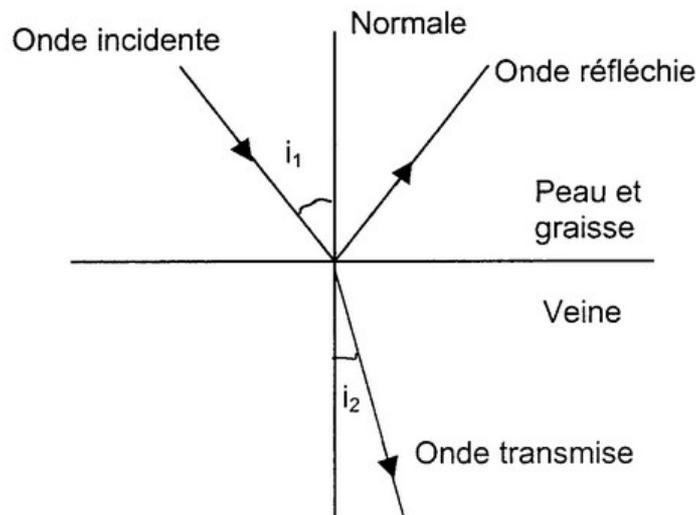
Calculer la vitesse du sang dans la veine pour $f_r - f_0 = 0,50 \text{ kHz}$ et $\theta = 60^\circ$.

3. Pour quelle valeur de θ , cet écart serait théoriquement maximum ? Cette valeur est-elle réaliste en pratique dans le cadre professionnel ?

4. Les ondes ultrasonores sont déviées à l'interface entre deux milieux conformément à la loi de Snell-Descartes :

$$\frac{\sin i_1}{c_1} = \frac{\sin i_2}{c_2}$$

i_1 est l'angle d'incidence, i_2 est l'angle de réfraction, c_1 et c_2 les célérités respectives des ultrasons dans les milieux concernés. La figure ci-dessous schématise le phénomène.



L'angle d'incidence de l'onde ultrasonore à l'interface (peau et graisse)-(veine) étant égal à 30° , calculer son angle de réfraction dans le sang.

5. Comparer les valeurs de i_1 et i_2 . En déduire si le phénomène de réfraction est préjudiciable pour la détermination de la vitesse du sang dans la veine.

annexe

	a	b	c
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			