IMRT2 : DEVOIR 3 : 1011

Données :

célérité de la lumière : $c = 3{,}000 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$	***unité de masse atomique : $1\ u = 931{,}49\ MeV/c^2$***
constante de Planck : $h = 6{,}626 \times 10^{-34}\ J.s$	***masse de l'électron : $m_e = 9{,}109 \times 10^{-31} kg = 5{,}48 \times 10^{-4}\ u$***
nombre d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$	***masse du proton : $m_P = 1{,}673 \times 10^{-27}\ kg = 1{,}007\ 82\ u$***
charge élémentaire : $e = 1{,}602 \times 10^{-19}\ C$	***masse du neutron : $m_N = 1{,}675 \times 10^{-27}\ kg = 1{,}008\ 66\ u$***

QCM : compléter la grille par V pour Vrai et F pour Faux

1. Le polonium 212 (Z = 84), radioactif, se transforme en plomb 208 (Z = 82) stable

A. Le polonium est un émetteur 'alpha' .
B. Le polonium est un émetteur 'béta -' .
C. Le polonium est un émetteur 'béta +' .
D. Cette désintégration peut s'accompagner de l'émission d'un photon γ.
E. Cette désintégration s'accompagne de l'émission d'un neutrino.

2. L'iode 130 (Z = 53), radioactif, se transforme en xénon 130 (Z = 54) stable.

A. L'iode un émetteur 'alpha' .
B. L'iode est un émetteur 'béta -' .
C. L'iode est un émetteur 'béta +' .
D. Il s'agit d'une capture électronique.
E. Cette désintégration s'accompagne de l'émission d'un neutrino.

3. Le molybdène 93 (Z = 42), radioactif se désintègre par capture électronique (100%) en Niobium stable

A. Le numéro atomique du Nobium vaut Z = 40.
B. Le nombre neutrons du noyau du Nobium obtenu vaut N = 52.
C. La désintégration s'accompagne de l'émission d'antineutrinos.
D. La désintégration s'accompagne de l'émission de photons X.
E. La désintégration peut s'accompagner de l'émission d'électrons Auger.

4. L'iode 124 (Z = 53) est un émetteur 'beta+' et se transforme en tellure

A. Cette désintégration s'accompagne de la formation de photons d'énergie 511 keV.
B. Le numéro atomique du tellure vaut Z = 54.
C. Le nombre de masse du tellure obtenu vaut 123.
D. Cette désintégration s'accompagne de l'émission d'un neutrino.
E. Les particules 'beta+' obtenues ont toutes la même énergie cinétique.

5. Un service de Médecine Nucléaire reçoit 7 jours après l'avoir commandé un flacon contenant un radionucléide dont l'activité au moment de la livraison est de 4 GBq. Trois semaines après réception, l'activité mesurée dans le flacon ne vaut plus que 500 MBq.

A. La période (demi-vie) du radionucléide est de 7 jours.
B. La période (demi-vie) du radionucléide est de 4,7 jours.
C. La constante radioactive du radionucléide est de 0,15 $jour^{-1}$.
D. La constante radioactive du radionucléide est de 0,10 $jour^{-1}$.
E. La constante radioactive du radionucléide vaut 0,014 h^{-1}.

6. La demi-vie ou période radioactive de l'iode 131 vaut 8,04 jours.

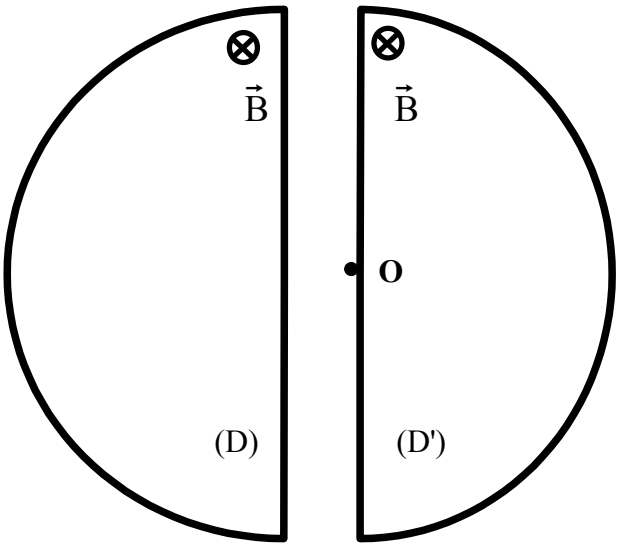
A. Sa constante radioactive vaut 0,124 $jour^{-1}$.
B. Sa constante radioactive vaut $6{,}0 \times 10^{-5}\ min^{-1}$.
C. Sa constante radioactive vaut $1{,}44 \times 10^{-6}\ s^{-1}$.
D. La totalité de l'iode 131 aura disparu après 16,08 jours.
E. après 24,1 jours l'activité de la source est divisée par 8.

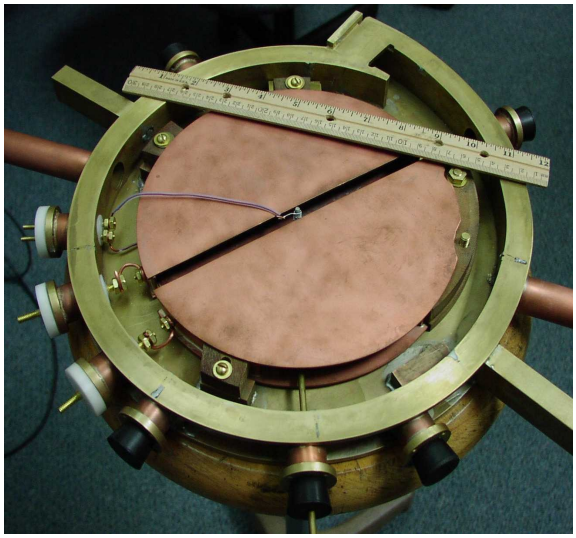
7. L'énergie moyenne de liaison par nucléon de la particule α est 7,07 MeV/nucléon.
La masse de la particule α vaut :
A. 4,002 6 u B. 4,063 31 u C. 4,032 96 u D. 4,0340 6 u E. 3728 MeV.c^{-2}

V/F	1	2	3	4	5	6	7
A							
B							
C							
D							
E							

Q2 : Cyclotron.

Un cyclotron est constitué de deux boites semi-cylindriques (les dees) de rayon R = 12,5 cm à l'intérieur desquelles on établit un champ magnétique $\vec{B}$ de valeur B = 2,0 T
Dans l'espace compris entre ces deux boites on établit une tension alternative u d'amplitude U = 20 kV.
Des protons H^+ sont injectés en O avec une vitesse négligeable.





1. ***On suppose que la tension est maximale et que les protons arrivant en O sont attirés par le dee (D).***
1.1. Préciser le signe de la différence de potentiel U_D-$U_{D'}$
1.2. Calculer leur énergie cinétique E_{C1} lorsque les protons arrivent en (D).
1.3. En déduire combien vaut leur vitesse v_1 à leur arrivée en (D). Représenter celle-ci sur le schéma.
1.4. Donner l'expression de la force à laquelle sont soumises les particules à leur entrée en (D). Calculer sa valeur et représenter celle-ci sur le schéma.

2.1. Donner les caractéristiques caractéristiques du mouvement et la forme de la trajectoire des protons dans le dee. Dessiner la trajectoire sur le schéma (2 ou 3 tours)
2.2. Exprimer le rayon R_1 de leur trajectoire en fonction de B, m, q et U et le calculer.
2.3. Donner l'expression littérale et calculer la durée de passage des protons dans (D).

3. ***Les protons à leur sortie de (D), sont accélérées par la tension alternative u, dont on suppose à nouveau qu'elle a atteint sa valeur maximale.***
3.1. Préciser le signe de la différence de potentiel U_D-$U_{D'}$ pour que les protons soient effectivement accélérées.
3.2. Donner l'expression littérale et calculer la nouvelle énergie cinétique des protons à leur entrée en (D').
3.3. Donner les caractéristiques du mouvement et la forme de la trajectoire dans (D').
3.4. Donner l'expression littérale et calculer la durée de passage des protons dans (D').

4. Établir l'expression de la fréquence de la tension alternative u, de manière à ce qu'elle accélère les protons de manière optimale ; calculer celle-ci.

5.1. Donner l'expression littérale de l'énergie cinétique E_{Cn} des protons lorsqu'ils ont effectué n passage (y compris le premier) entre les deux dees ; en déduire l'expression littérale de la vitesse v_n des protons en fonction de n et B, m, q et U.
5.2. Établir l'expression générale du rayon de la trajectoire R_n en fonction de n et de R_1 (calculé dans la question 1)
5.3. Déterminer le nombre n de passages qu'ont effectués les protons entre les dees ; en déduire leur énergie cinétique à leur sortie du cyclotron.

PROBLÈME

I. Production des ultrasons

On utilise un émetteur à ultrasons, constitué d'une lame de quartz (L) dont les faces ont été métallisées (voir figure 1).

Elle vibre sous l'action d'un champ électrique alternatif obtenu en appliquant entre les deux faces parallèles de la lame une tension sinusoïdale u, de fréquence f = 4,0 MHz.

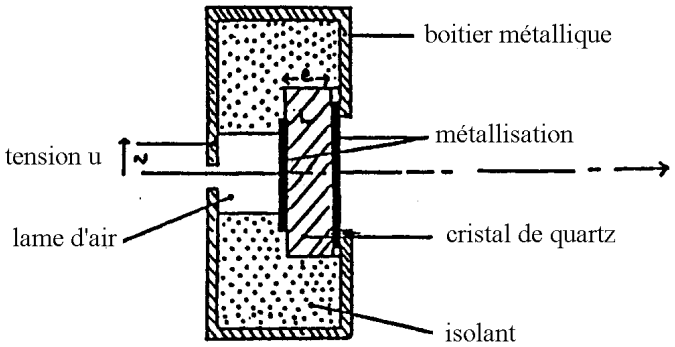


figure 1

1. Calculer la période T de ce faisceau d'ultrasons.

2. L'épaisseur de la lame de quartz est liée à la longueur d'onde par la relation : $e = \frac{\lambda}{2}$

La célérité du son dans quartz vaut C = 5,70 km.s^{-1}. Calculer l'épaisseur e de la lame de quartz.

II. Réflexion et atténuation des ondes sonores dans les milieux biologiques.

1. Les ondes ultrasonores se propagent dans un milieu matériel avec une célérité c, caractéristique de ce milieu et de sa température. À une température ordinaire de 20°C, on donne la valeur moyenne de c dans quelques milieux ainsi que leurs masses volumiques ρ.

Milieu	c (km.s^{-1})	ρ (g.cm^{-3})
air	0,343	1,3 × 10^{-3}
eau	1,48	1,0
tissus mous	1,54	1,04
os	4,00	1,9

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 :

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

1.1. Donner la définition et calculer à la température ordinaire, les impédances acoustiques de l'air, des tissus mous et du squelette ; préciser et utiliser l'unité S.I (système international) des grandeurs calculées.

1.2. En déduire la valeur du coefficient de réflexion à la surface de séparation tissus mous / os et air / tissus mous, sous incidence normale.

1.3. Comparer les résultats et conclure ; citer une solution utilisée en échographie pour éviter certains problèmes, soulevés dans ce paragraphe, liés à la réflexion des ondes ultra sonores.

2. L'intensité I du faisceau d'ultrasons, c'est-à-dire la puissance transportée par unité de surface, décroît avec l'épaisseur x du matériau traversé selon une loi exponentielle du type $I = I_0\, e^{-\alpha x}$, où α représente un coefficient d'atténuation qui dépend du milieu traversé et varie avec la fréquence des ultrasons. Pour une fréquence f de 4,0 MHz, ce coefficient prend la valeur de $\alpha = 36\ m^{-1}$ dans les tissus mous, alors que pour la fréquence f' = 8,0 MHz, il vaut $\alpha' = 144\ m^{-1}$.

2.1. Calculer, pour ces deux fréquences, l'intensité du faisceau après traversée d'une épaisseur de 2,0 cm de ces tissus, dans le cas d'une intensité initiale I_0 de 8,0 $W.m^{-2}$.

2.2. Calculer également en décibels (dB), pour ces deux fréquences, l'atténuation A du faisceau, donnée par la définition suivante, faisant intervenir un logarithme décimal :

$$A(dB) = 10 \log\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

2.4. Calculer les deux coefficients d'atténuation en $dB.cm^{-1}$.

2.5. Conclure.

3. ***La sonde (réglée de nouveau à f = 4,0MHz) envoie une salve d'ultrasons d'intensité acoustique I_0 dans le milieu constitué de 1,5 cm de tissus mous puis 2,0 cm d'o***s.

3.1. Calculer la durée Δt_1 qui sépare la première réception de la salve de la réception de l'écho dû à l'interface muscle-os.

3.2. Calculer la durée Δt_2 séparant la réception de cet écho et celle du suivant.

Le coefficient d'atténuation vaut $\alpha = 36\ m^{-1}$ dans les tissus mous et $\beta = 954\ m^{-1}$ dans l'os.

3.3. Calculer le rapport des intensités acoustiques de ces deux échos. Commenter.

III. Échographie de type A.

C'est une échographie temps-amplitude au cours de laquelle la sonde précédemment étudiée émet des 'salves' ultrasonores de très courte durée $\tau = 2{,}0\ \mu s$. La même sonde enregistre les échos renvoyés par les surfaces de séparation des différents milieux, sur un écran d'oscilloscope dont la base de temps est réglée à 50 µs/div.

1. Mesures de distances.

1.1. En exploitant l'oscillogramme de la figure 2, mesurer la durée qui s'écoule entre la réception des échos renvoyés par les parois de la structure échogène observée dans les tissus mous.

1.2. Déterminer la dimension d, dans le plan d'incidence particulier de la figure 2, de la structure échogène observée dans les tissus mous :

en considérant qu'elle est constituée d'eau.

en considérant que c'est un os

Conclure.

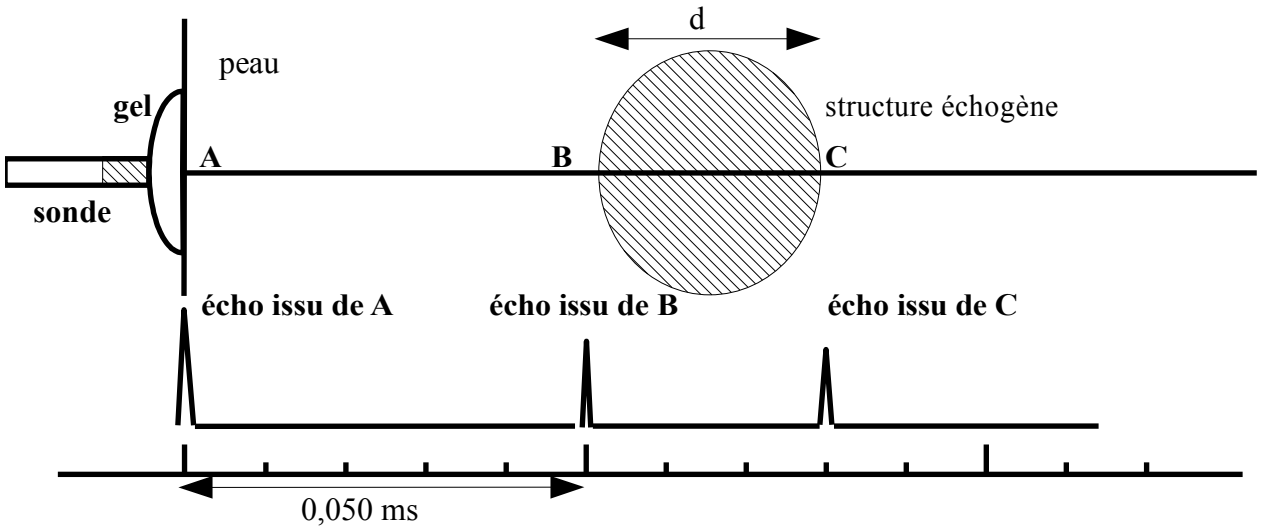


figure 2

2. Résolution axiale.

La durée des salves ultrasonores vaut $\tau = 2{,}0$ µs, la fréquence de l'onde vaut toujours $f = 4{,}0$ MHz, On considère que deux interfaces ne pourront être séparées que si les échos ne se recouvrent pas, c'est à dire si la durée séparant la réception de deux échos successifs est supérieure à la durée d'une salve.

2.1. Calculer la distance minimale CD que l'on peut mesurer dans cette situation (voir figure 3). En déduire la résolution axiale r_A de l'appareil utilisé dans ces conditions.

La durée d'une salve est limitée par le nombre de périodes du signal sonore qui la composent.

2.2. Dans le cas évoquée, calculer le nombre de périodes contenues dans une salve.

La sonde émet maintenant un signal de fréquence $f' = 8{,}0$ MHz.

2.3. En supposant que le nombre de périodes contenues dans une salve reste le même, calculer la durée de la salve τ' émise par le dispositif.
En déduire la nouvelle résolution axiale r_A' dans ces conditions.
Conclure.

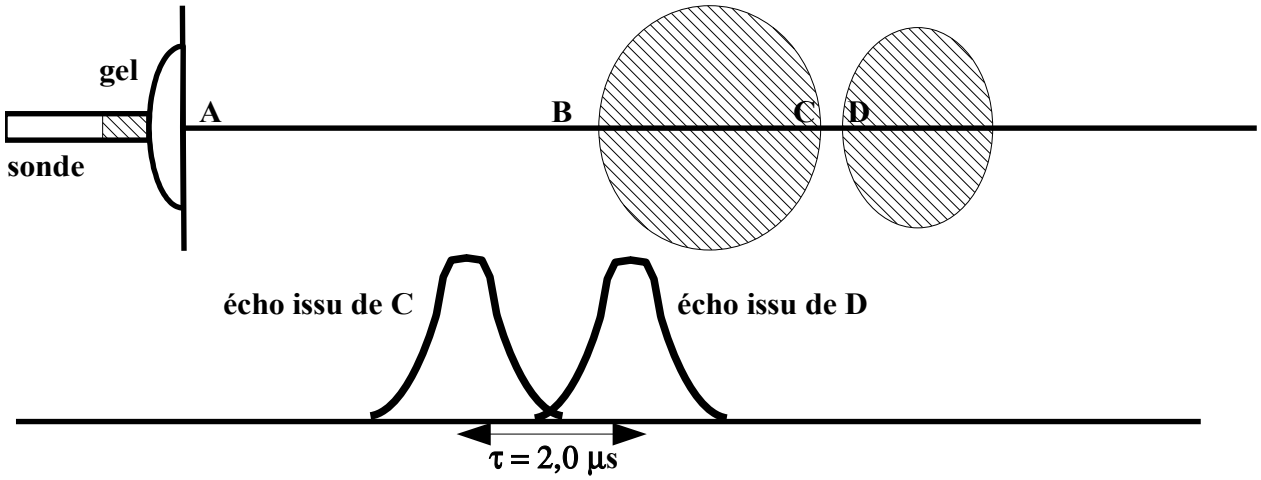


figure 3

IV. Vélocimétrie Döppler.

Cette sonde (la fréquence est revenue à f = 4,0 MHz) est maintenant utilisée pour étudier le débit sanguin d'un vaisseau situé à l'intérieur du tissu étudié précédemment. Elle fait un angle de 60° avec la paroi du tissu, comme indiqué dans la figure 4.
On supposera que la célérité des ondes ultrasonores dans le tissu (et dans le vaisseau) est égale à C ' = 1500 m.s^{-1}.
Par effet Doppler sur les globules rouges circulant .avec une vitesse V dans le vaisseau, on note un décalage en fréquence Δf = 1,0 kHz.

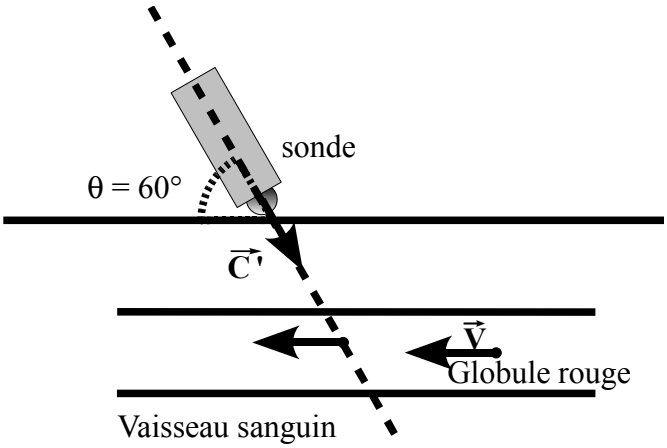


figure 4

1. Parmi les formules suivantes, proposées pour l'expression de la variation relative de la fréquence reçue par la sonde, une seule est correcte ; dire laquelle **en justifiant la réponse :**

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{V^2 \cos\theta}{C'} \qquad \frac{\Delta f}{f} = \frac{2V + C'}{\cos\theta} \qquad \frac{\Delta f}{f} = \frac{2V\cos\theta}{C'} \qquad \frac{\Delta f}{f} = \frac{2VC'}{\cos\theta}$$

2. Exprimer la vitesse V du flux sanguin en fonction de la variation relative de fréquence Δf / f, de la célérité C ' et de l'angle θ.
Calculer V.

3. ***La sonde est déplacée et positionnée à coté d'un rétrécissement du vaisseau sanguin*** ; comment évolue le décalage en fréquence Δf ? Justifier la réponse.