

Q1. QCM : compléter le tableau par V pour vrai et F pour Faux

1. L'effet photoélectrique décrit une interaction entre :
 - a) un électron incident et un électron lié de l'atome cible.
 - b) un photon incident et un électron lié de l'atome cible.
 - c) un photon incident et un atome ionisé.
 - d) un photon incident et un électron Auger
2. Un photon incident X peut provoquer un effet photoélectrique,
 - a) si son énergie est supérieure à l'énergie de liaison d'un électron K de l'atome cible.
 - b) si son énergie est inférieure à l'énergie de liaison d'un électron K de l'atome cible.
 - c) uniquement si son énergie est supérieure à l'énergie de liaison du noyau de l'atome cible.
 - d) uniquement si son énergie est supérieure à 0,511 MeV
3. La probabilité d'interaction par effet photoélectrique est plus grande si l'énergie du photon incident X est :
 - a) voisine mais légèrement supérieure à l'énergie de liaison d'un électron de l'atome cible.
 - b) égale à la différence des énergies de liaison $E_K - E_L$ des électrons de l'atome cible.
 - c) voisine (uniquement) de l'énergie de liaison d'un électron de la couche K de l'atome cible.
 - d) égale à l'énergie de liaison de l'électron de l'atome cible augmentée de 0,511 MeV
4. Dans une diffusion simple de Thomson-Rayleigh, le photon incident est dévié
 - a) sans changement de longueur d'onde.
 - b) avec augmentation de sa longueur d'onde.
 - c) avec diminution de sa longueur d'onde.
 - d) avec diminution de fréquence
5. Lors de l'effet Compton, le photon incident :
 - a) transfère toute son énergie à l'électron projeté si le choc est tangentiel.
 - b) transfère toute son énergie à l'électron projeté si le choc est frontal.
 - c) ne peut pas transférer toute son énergie à l'électron quel que soit le type de choc.
 - d) transfère au moins 0,511 MeV à l'électron projeté
6. Lors de l'effet Compton,
 - a) l'électron Compton est toujours projeté vers l'avant et le photon diffusé est toujours projeté vers l'arrière.
 - b) l'électron Compton est toujours projeté vers l'arrière et le photon diffusé est toujours projeté vers l'avant.
 - c) l'électron Compton est toujours projeté vers l'avant et le photon diffusé peut éventuellement être émis vers l'arrière.
 - d) Le photon s'arrête et l'électron repart avec une énergie cinétique de 1,022 MeV.
7. Un électron Auger est :
 - a) un photoélectron expulsé par effet photoélectrique.
 - b) un électron provenant d'un effet de matérialisation.
 - c) un électron expulsé après un réarrangement électronique.
 - d) un électron capturé par le noyau de l'atome.

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.
 - un électron et un proton ; le proton se combine à un électron pour former un atome d'hydrogène
9. L'effet de matérialisation se produit :
- uniquement pour des énergies du photon supérieures à 1,022 MeV.
 - pour des énergies du photon inférieures à celles correspondant à l'effet photoélectrique.
 - pour des énergies du photon inférieures à 1,022 MeV.
 - pour des énergies du photon comprises entre 511 keV et 1022 keV
10. Un écran d'épaisseur égale à 4 fois la CDA (couche de demi-atténuation) :
- laisse passer un photon sur 16.
 - laisse passer un photon sur 8.
 - absorbe un photon sur 16.
 - absorbe 3 photons sur 8.
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.
 - uniquement de l'énergie des photons incidents dans le domaine de prédominance de l'effet Compton
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 vaut :
- $3,0 \text{ cm}^{-1}$
 - $0,50 \text{ mm}^{-1}$
 - $5,0 \text{ mm}^{-1}$
 - $0,30 \text{ mm}^{-1}$
13. La masse volumique du plomb est $11,3 \text{ g.cm}^{-3}$. Le coefficient d'atténuation massique du plomb pour des photons de 1 MeV est $6,84 \times 10^{-2} \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$.
La CDA du plomb pour ces photons vaut :
- 9,0 mm
 - 10 cm
 - $4,2 \times 10^{-3} \text{ cm}$
 - 1,29 cm

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

Q2. Accélération de deutons à l'aide d'un cyclotron.

masse du deuton : $m = 3,345 \times 10^{-27} \text{ kg}$

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

célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

constante de Planck : $6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

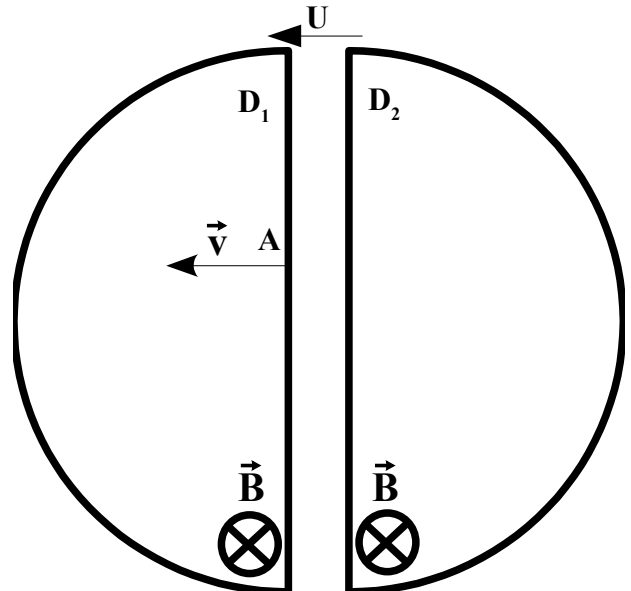
Les accélérateurs de type cyclotron permettent d'obtenir des particules chargées lourdes (protons, deutons...) de haute énergie susceptibles de provoquer des réactions nucléaires.

Un cyclotron comporte deux demi cylindres creux D_1 et D_2 appelés les "dees".

A l'intérieur des dees, règne un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme et constant tel que $B = 1,8 \text{ T}$.

Entre les dees, il existe un champ électrique $\vec{E}$ produit par la différence de potentiel électrique U .

Des deutons ${}^2_1\text{H}$ sont injectés dans D_1 en A avec une vitesse $\vec{v}$ perpendiculaire à $\vec{B}$.



1. Donner l'expression et représenter la force magnétique qui s'exerce sur un deuton en A.
2. Donner la nature du mouvement des deutons dans D_1 . Décrire et représenter la trajectoire correspondante en indiquant le sens du mouvement.
3. Exprimer littéralement la durée du mouvement d'un deuton dans D_1 . Cette durée dépend-elle de la vitesse en A ? Effectuer l'application numérique.
4. Donner le sens du champ électrique entre les dees pour que les deutons soient accélérés à leur sortie de D_1 . Le représenter.
5. Donner le signe de la tension $U = U_{D1} - U_{D2}$ entre les dees (toujours pour le passage de D_1 vers D_2).
6. Les deutons pénètrent dans D_2 en un point C. Décrire leur mouvement.
Quel est le temps de parcours dans D_2 ?
7. Les deutons sortent de D_2 en C'. Donner le sens du champ électrique et le signe de la tension U entre les dees pour qu'ils soient à nouveau accélérés.
8. Calculer la fréquence de la tension alternative qu'il faut appliquer entre les dees.
9. Les deutons, *supposés non relativistes*, continuent ainsi leur mouvement de plus en plus rapidement ; ils sont extraits du cyclotron lorsque le rayon de la trajectoire dans les dees atteint la valeur $R_m = 0,40 \text{ m}$. Calculer leur énergie cinétique en joule, puis en MeV.

PROBLÈME

I. Production des ultrasons

Pour une échotomographie abdominale, 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 $f = 4,0 \text{ MHz}$.

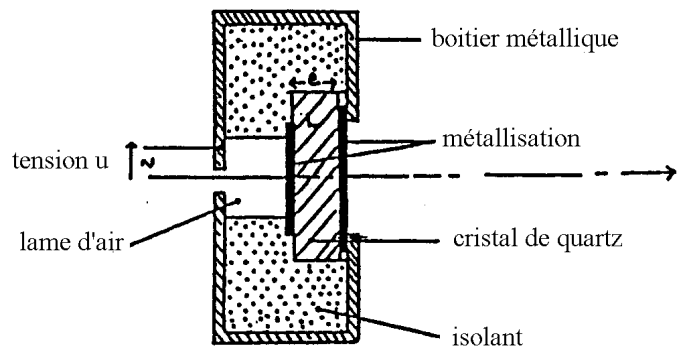


figure 1

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 $C = 5700 \text{ m.s}^{-1}$. 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	$c \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$	$\rho \text{ (g.cm}^{-3}\text{)}$
air	343	$1,3 \times 10^{-3}$
eau	1480	1,0
tissus mous	1 540	1,04
os	4 000	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 l'unité des grandeurs calculées.

1.2. En déduire la valeur du coefficient de réflexion à la surface de séparation tissus mous / squelette 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 $4,0 \text{ MHz}$, ce coefficient prend la valeur de 36 m^{-1} dans les tissus mous, alors que pour la fréquence $f' = 8,0 \text{ MHz}$, il vaut 144 m^{-1} .

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

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 :

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

2.3. Conclure.

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 $50 \mu s/div$.

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.

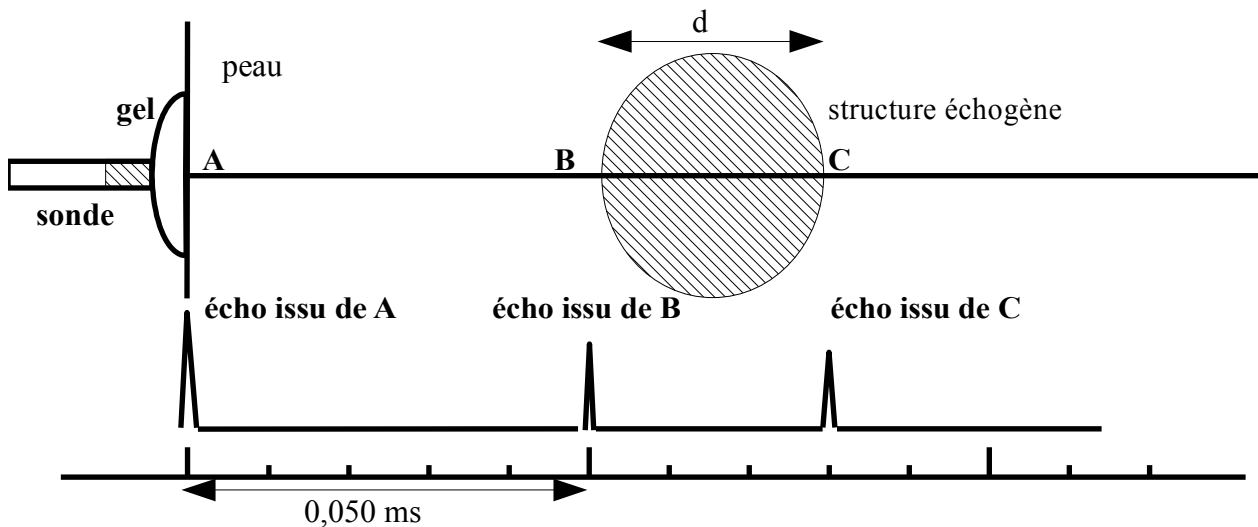


figure 2

2. Résolution axiale.

La durée des salves ultrasonores vaut $\tau = 2,0 \mu s$, 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 $f' = 8,0 \text{ MHz}$.

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.

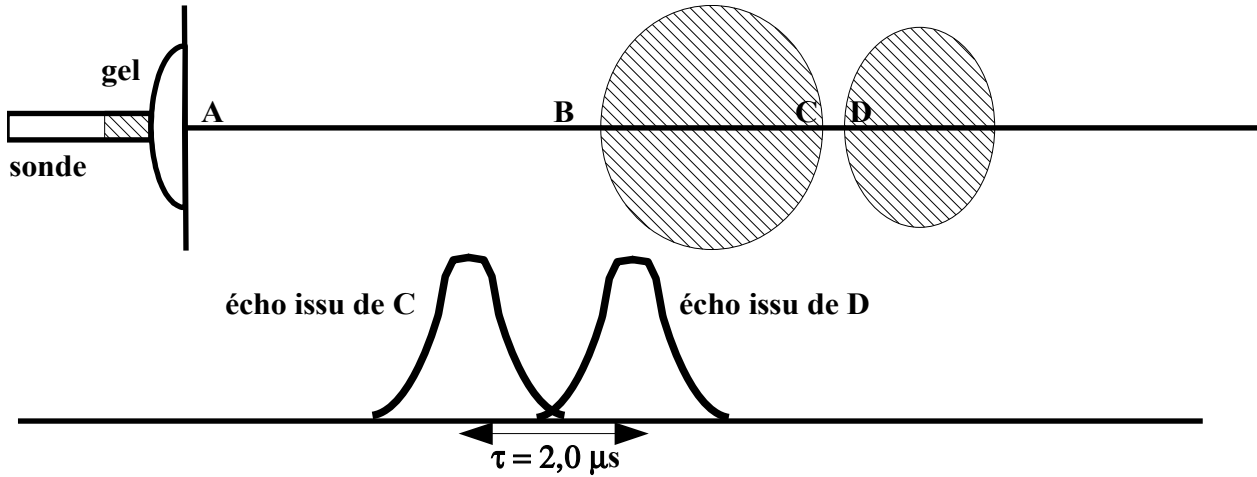


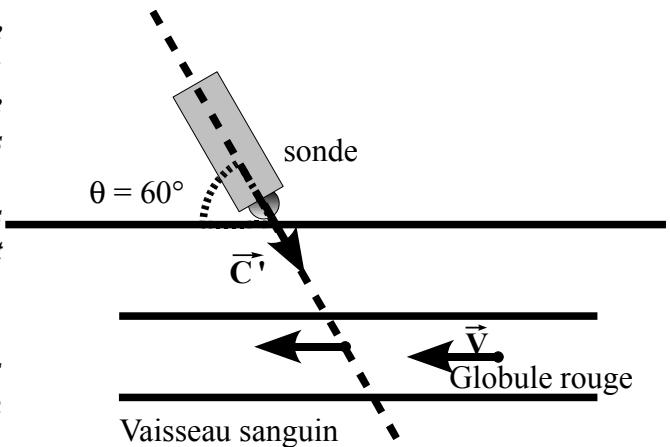
figure 3

IV. Vélométrie Doppler.

Cette sonde 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 ci-contre.

On supposera que la célérité des ondes ultrasonores dans le tissu (et dans le vaisseau) est égale à $C' = 1500 \text{ m.s}^{-1}$.

Par effet Doppler sur les globules rouges circulant avec une vitesse V dans le vaisseau, on note une variation de fréquence $\Delta f = 1,0 \text{ kHz}$.



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** :

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

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

Calculer V .