

L'utilisation de la calculatrice est autorisée

PREMIÈRE PARTIE : CONTRÔLE DES CONNAISSANCES (30 POINTS)

Les deux questions Q1 et Q2 doivent être traitées par le candidat,

Q1 : RAYONS X (15 POINTS)

Chacune des propositions suivantes, de 1 à 9, contient une seule affirmation vraie (a, ou b, ou c, ou d). choisir la proposition vraie en justifiant.

On donne les constantes suivantes :

charge élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19}$ C, célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8$ m.s⁻¹
constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s, masse d'un électron : $m = 9,11 \times 10^{-31}$ kg.

1. Un tube de Coolidge

- a) produit un faisceau X formé essentiellement d'électrons de freinage,
- b) produit un faisceau X émis uniquement dans la direction perpendiculaire à la cible,
- c) produit un faisceau X formé essentiellement de photons de freinage,
- d) produit un spectre continu de raies X caractéristique de l'élément cible.

2. Dans un tube de Coolidge, l'énergie maximale des photons du rayonnement de freinage

- a) est proportionnelle au numéro atomique de la cible,
- b) augmente lorsque la haute tension diminue,
- c) est proportionnelle à la longueur d'onde minimale du rayonnement,
- d) est égale à l'énergie cinétique des électrons à l'anode.

3. Dans un tube de Coolidge

- a) le filament émet des rayons X par effet thermoélectronique,
- b) le rayonnement de freinage est un spectre de raies d'énergie,
- c) l'anticathode est en métal léger,
- d) la tension, en kV, appliquée au tube, permet de régler le seuil de longueur d'onde des rayons X émis.

4. Le flux énergétique (ou puissance) rayonné par un tube à rayons X fonctionnant sous une tension U traversé par un courant d'intensité I et dont l'anode a pour numéro atomique Z est $\phi = k Z I U^2$. Deux tubes de Coolidge identiques, fonctionnent sous deux tensions différentes mais sont traversés par un courant de même intensité. L'un émet un flux d'énergie ϕ_1 qui est le double du flux d'énergie ϕ_2 émis par l'autre.

Soit U_1 la tension aux bornes du premier et U_2 la tension aux bornes du deuxième ; la relation entre U_1 et U_2 est :

- a) $U_1 = 2U_2$
- b) $U_1 = \sqrt{2} U_2$
- c) $U_1 = \frac{U_2}{2}$
- d) $U_1 = \frac{U_2}{\sqrt{2}}$

5. Le rendement en énergie d'un tube à rayons X a pour expression en fonction de la tension U à ses bornes, de l'intensité I du courant qui le traverse et du numéro atomique Z de la cible :

- a) $k Z U$,
- b) $k Z U^2$,
- c) $k Z^2 U$,
- d) $k Z I U^2$.

6. Un tube de Coolidge a un rendement de 1,5% et est parcouru par un courant d'intensité 200 mA quand on applique à ses bornes une tension de 150 kV. Quand la tension appliquée est de 200 kV, le rendement devient :

- a) 2,7%,
- b) 1,7%,
- c) 2,0%,
- d) ou reste de 1,5%.

7. Un tube à rayons X fonctionne sous une tension de 250 kV. La longueur d'onde minimale des rayons X émis est de :

- a) 5,0 nm,
- b) $8,0 \times 10^{-22}$ nm,
- c) $5,0 \times 10^{-3}$ nm.
- d) $5,0 \times 10^{-21}$ nm.

8. Les premiers niveaux d'énergie de l'atome de molybdène ont pour valeur approximative :

$E_K = - 20,0$ keV et $E_L = - 2,5$ keV.

Parmi les tensions suivantes, celle qui, appliquée à un tube de rayons X dont la cible est en molybdène permet d'obtenir la famille de raies L sans produire simultanément la famille de raies K vaut :

- a) 2 kV,
- b) 3 kV,
- c) 20 kV,
- d) 25 kV.

9. La longueur d'onde de la raie K_{α} , émise par une cible de molybdène est :

- a) $6,22 \times 10^{-2}$ nm,
- b) $4,97 \times 10^{-1}$ nm,
- c) $7,10 \times 10^{-2}$ nm.
- d) $1,14 \times 10^{-20}$ nm.

Q2 : INTERACTION DES PHOTONS AVEC LA MATIERE. (15 POINTS)

Selon les valeurs de l'énergie des photons incidents, on peut observer la prépondérance des phénomènes suivants : diffusion (effet Thomson-Rayleigh), effet photoélectrique, effet Compton, effet de matérialisation, capture nucléaire. ,

On se propose d'étudier quelques caractéristiques des principales interactions : effet photoélectrique, effet Compton, effet de matérialisation.

1. Effet photoélectrique

- a) donner la définition.
- b) faire une étude énergétique détaillée,
- c) définir le phénomène de fluorescence et l'effet Auger.

2. Effet Compton, donner :

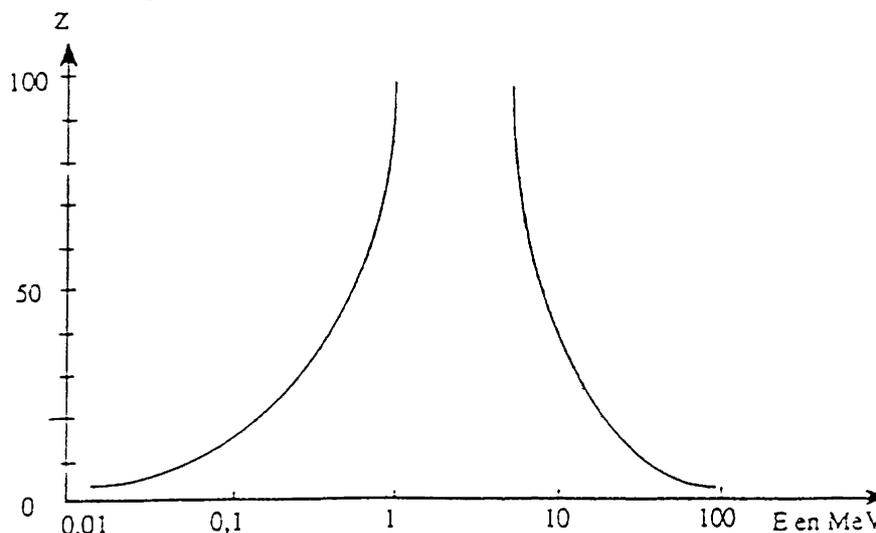
- a) la définition,
- b) la justification et la signification des grandeurs entrant dans la relation

$$\lambda' - \lambda = \left(\frac{h}{m_e c} \right) (1 - \cos \theta)$$

3. Effet de matérialisation :

- a) donner la définition,
- b) préciser la condition énergétique,
- c) indiquer le devenir des particules formées.

4. Reproduire, sur votre copie, le diagramme ci-dessous en indiquant les zones de prédominance de chacun des trois effets. Que représentent les deux courbes ?



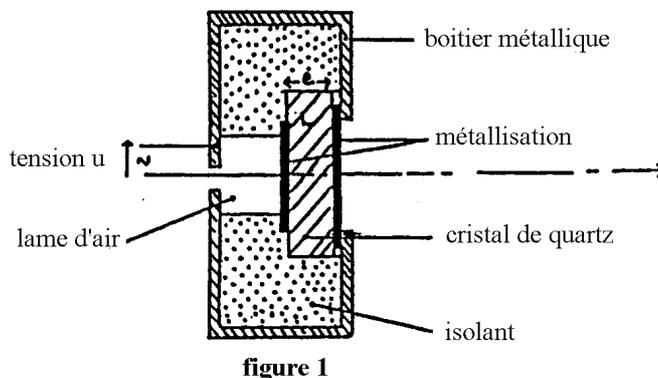
DEUXIÈME PARTIE : PROBLÈME (30 POINTS)

Les deux exercices sont indépendants et doivent être traités par le candidat

EXERCICE 1. Émission des ultrasons (20 POINTS)

La piézoélectricité, découverte par Pierre et Jacques Curie, peut être mise en évidence avec certains cristaux anisotropes, comme le quartz.

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 $f = 3,75$ MHz.

Sachant que la lame de quartz, d'épaisseur e , vibre à la fréquence $f = 3,75$ MHz quand elle est excitée par la tension u de même fréquence, et que cette fréquence est donnée dans le système international d'unités par la relation :

$$f = \frac{2850}{e}$$

1.1. Calculer l'épaisseur e de la lame de quartz.

1.2. Calculer également la période T et la pulsation ω de ce faisceau d'ultrasons.

Propagation des ultrasons

Les ondes ultrasonores se propagent dans un milieu matériel avec une célérité c , caractéristique de ce milieu et de sa température. A une température ordinaire de 20°C , on donne la valeur moyenne de c dans quelques milieux caractérisés en outre par leur masse volumique ρ .

Milieu	c ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	ρ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
air	343	$1,3 \times 10^{-3}$
eau	1480	1,0
tissus mous	1 540	1,04
os	4 000	1,9

2.1. Calculer la longueur d'onde λ des ultrasons émis par la sonde étudiée quand ils se propagent dans les tissus mous.

2.2. Une source plane, circulaire, de diamètre D , fournit un faisceau d'ultrasons dont l'intensité I flux de puissance par unité de surface, est maximale dans l'axe de la source. On peut considérer que l'ouverture θ du faisceau émis, exprimée en radians, est donnée par :

$$\theta = \frac{2\lambda}{D}$$

Calculer, dans les tissus mous et en degrés, l'ouverture du faisceau émis si le diamètre D de la source vaut 1,5 cm. Conclure.

2.3. Calculer à la température ordinaire, l'impédance acoustique Z de l'air, des tissus mous et du squelette ; on rappelle l'expression de l'impédance acoustique $Z = \rho c$ et son unité dans le système international, le $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (ou Rayl).

En déduire la valeur du coefficient de réflexion en énergie $R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$ à la surface de séparation tissus mous-squelette et air-tissus mous, sous incidence normale ; conclure.

2.4. 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 3,75 MHz, ce coefficient prend la valeur de 36 m^{-1} dans les tissus mous.

a) Calculer 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 $8,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

b) Calculer également en décibels (dB), pour une épaisseur traversée de 2,0 cm de tissus mous, l'atténuation A du faisceau, donnée par la définition suivante, faisant intervenir un logarithme décimal :

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

c) Quelle épaisseur x de tissus mous a traversé un faisceau d'ultrasons, si son intensité ne représente que 80% de sa valeur initiale après propagation dans ces tissus ?

3. 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 $\tau = 1 \mu\text{s}$. 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 $50 \mu\text{s}/\text{div}$.

3.1. D'après l'oscillogramme de la figure 2, calculer la durée qui s'écoule entre la réception des échos renvoyés par les parois de la structure échogène observée dans les tissus mous.

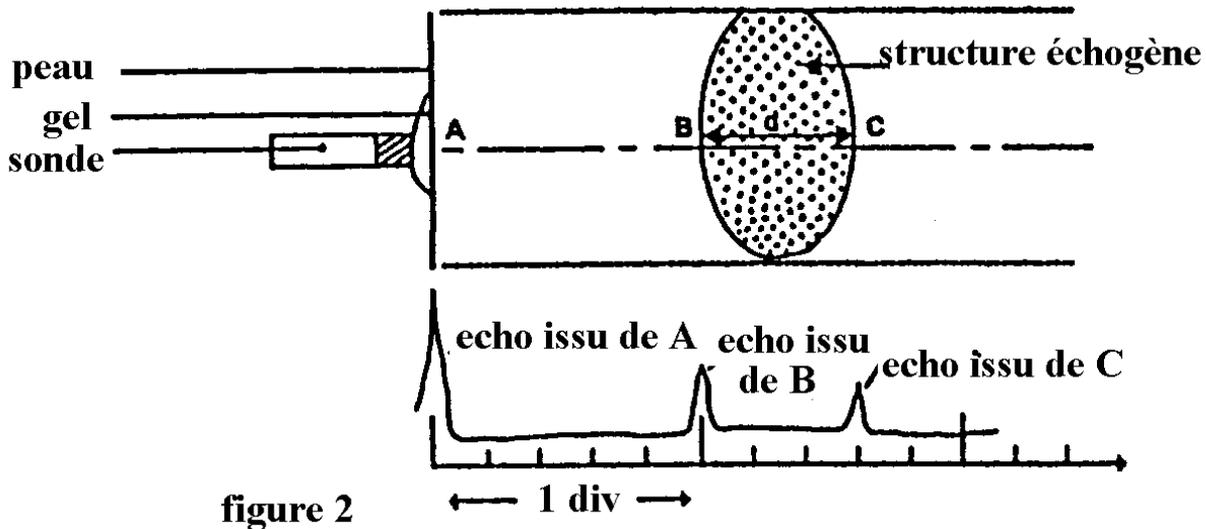


figure 2

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

EXERCICE 2 : RADIOACTIVITÉ (10 POINTS)

Données :

- masse du noyau de polonium $^{210}\text{Po} = 210,0482 \text{ u}$,
 - masse de la particule $\alpha = 4,0039 \text{ u}$,
 - masse du noyau de plomb $= 206,0385 \text{ u}$,
 - unité de masse atomique $1 \text{ u} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MoV} \cdot \text{c}^{-2}$
 - charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$,
 - célérité de la lumière $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 - constante d'Avogadro $= 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- On prendra la masse d'un atome égale à la masse de son noyau.

Le radionucléide ^{210}Po (numéro atomique 84) subit une désintégration α en donnant du plomb Pb.

1. Écrire l'équation traduisant cette désintégration.
- 2.a) Calculer en joules et en MeV l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau de ce polonium 210.
- 2.b) Sous quelles formes cette énergie est-elle libérée ?
3. La période du polonium 210 est 140 jours. On considère une masse de polonium de 1,00 g à la date $t = 0$.
- 3.a) Calculer la constante radioactive du polonium.
- 3.b) Quelle est l'activité de cet échantillon ?
- 3.c) Quel volume d'hélium pourra-t-on obtenir au bout de 420 jours, dans des conditions où le volume molaire est $25 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$?