

L'utilisation de la calculatrice est autorisée

PREMIÈRE PARTIE : CONTRÔLE DE CONNAISSANCES. (30 POINTS)

Les deux questions Q1 et Q2 doivent être traitées par les candidats.

Q1 : QUESTIONNAIRE A CHOIX MULTIPLE.

Chacune des propositions suivantes, de 1 à 10, contient une seule affirmation vraie (a, ou b, ou c, ou d). Choisir la proposition vraie, en la recopiant. Seules les réponses aux questions 5, 6, 7 et 9 seront justifiées.

Données :

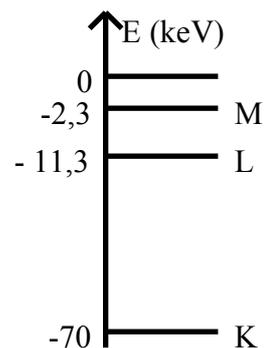
célérité de la lumière : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
 masse de l'électron $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

charge élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$
 constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
 Angström $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

1. Soit un photon de longueur d'onde dans le vide 5 nm.
 - a) Exprimée en Angströms sa longueur d'onde vaut 0,5 Å.
 - b) Sa fréquence vaut $6 \cdot 10^{17} \text{ Hz}$.
 - c) Son énergie vaut 248 eV.
 - d) Il appartient au domaine des rayonnements infra-rouges.

2. Les énergies des niveaux de l'atome d'hydrogène sont donnés par la relation $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$, ou E_n est exprimée en eV et n est un entier positif.
 - a) Au niveau $n = 2$, l'énergie de l'atome vaut 1,51 eV.
 - b) Un photon d'énergie 15 eV ne peut pas provoquer l'ionisation de l'atome d'hydrogène.
 - c) Un photon de longueur d'onde 121,7 nm provoque l'ionisation de l'atome d'hydrogène.
 - d) Lorsque l'atome d'hydrogène, excité au niveau $n = 2$, retombe à l'état fondamental, la longueur d'onde de la radiation émise vaut 121,7 nm.

3. On connaît le diagramme d'énergie simplifié du tungstène
 - a) Dans son état fondamental, l'atome de tungstène a une énergie nulle.
 - b) Un photon d'énergie 70 keV peut arracher un électron de la couche K par effet photoélectrique.
 - c) Les photons de fluorescence de la raie L_α du tungstène ont une énergie de 11,3 keV.
 - e) Les photons de fluorescence de la raie K_α du tungstène ont une longueur d'onde égale à 18 pm.



4. Dans un tube de Coolidge, les électrons émis par la cathode sont accélérés sous une différence de potentiel de 100 kV.
 - a) Les photons X résultat du bombardement de l'anode par les électrons ont au maximum une énergie égale à 100 keV.
 - b) Le spectre X du tube est un spectre continu.
 - c) Le spectre X du tube est un spectre de raies.
 - d) Les photons les plus nombreux émis par le tube ont une longueur d'onde de 12,4 pm.

5. Un laser Hélium-Néon de puissance 2 mW émet une lumière de longueur d'onde égale à 632,8 nm.
- La lumière émise est de couleur verte.
 - Ce laser émet $6,4 \cdot 10^{15}$ photons par seconde.
 - Ce laser fonctionne en régime pulsé.
 - Ce laser est un laser à trois niveaux.
- Justifier la réponse.
6. Pour des photons X d'énergie 100 keV, le coefficient linéique d'atténuation μ du plomb vaut $4,95 \text{ mm}^{-1}$.
- La couche de demi-atténuation du plomb pour ces photons est égale à 0,202 mm.
 - Une épaisseur de plomb de 0,072 mm arrête 30% du rayonnement.
 - Une épaisseur de plomb de 0,072 mm transmet 30% du rayonnement.
 - Des épaisseurs égales de plomb et d'aluminium transmettent le même pourcentage de rayonnement.
- Justifier la réponse
7. Un faisceau contenant 50% de photons d'énergie E_1 et 50% de photons d'énergie E_2 traverse une couche de cuivre. E_1 est supérieure à E_2 .
- Après traversée du cuivre, le faisceau est plus riche en photons d'énergie E_2 qu'en photons d'énergie E_1 .
 - L'atténuation est la même, quelle que soit l'énergie des photons.
 - Le coefficient linéique d'atténuation du cuivre est plus faible pour les photons d'énergie E_1 que pour les photons d'énergie E_2 .
 - Si $E = 2 E_2$, le coefficient linéique d'atténuation du cuivre est 2 fois plus faible pour les photons d'énergie E_1 que pour les photons d'énergie E_2 .
- Justifier la réponse
8. Les photons gamma
- Ils ont une énergie généralement supérieure à celle des photons X.
 - Il y a toujours émission de rayons γ au cours d'une désintégration nucléaire.
 - Il n'y a jamais d'émission de rayons γ au cours d'une désintégration nucléaire.
 - Lorsque les photons γ sont produits lors d'une désintégration nucléaire, l'émission γ et la désintégration nucléaire sont simultanées.
9. La désintégration du nucléide ${}_{83}^{212}\text{Bi}$ donne le nucléide ${}_{81}^{208}\text{Tl}$ et des noyaux d'hélium d'énergie 6,09 MeV ou 5,60 MeV.
- Cette désintégration est de type β^-
 - Tous les noyaux-fils sont obtenus à l'état fondamental.
 - Il n'y a aucune émission γ .
 - Les photons γ émis ont une longueur d'onde de 2,5 pm.
- Justifier la réponse.
10. La réaction d'annihilation
- C'est une interaction photon-noyau
 - C'est une interaction électron-électron
 - Elle donne naissance à deux photons d'énergie 511 keV chacun
 - Ce n'est pas une interaction électron-positron

Q2 : ONDES SONORES ET ULTRASONORES (15 POINTS) .

Quelques propriétés physiques des sons et des ultra-sons.

1. Fréquence

Quel est le domaine des fréquences des sons audibles par l'oreille humaine ?

A partir de quelle fréquence le domaine des ultrasons commence-t-il ?

2. Vitesse de propagation

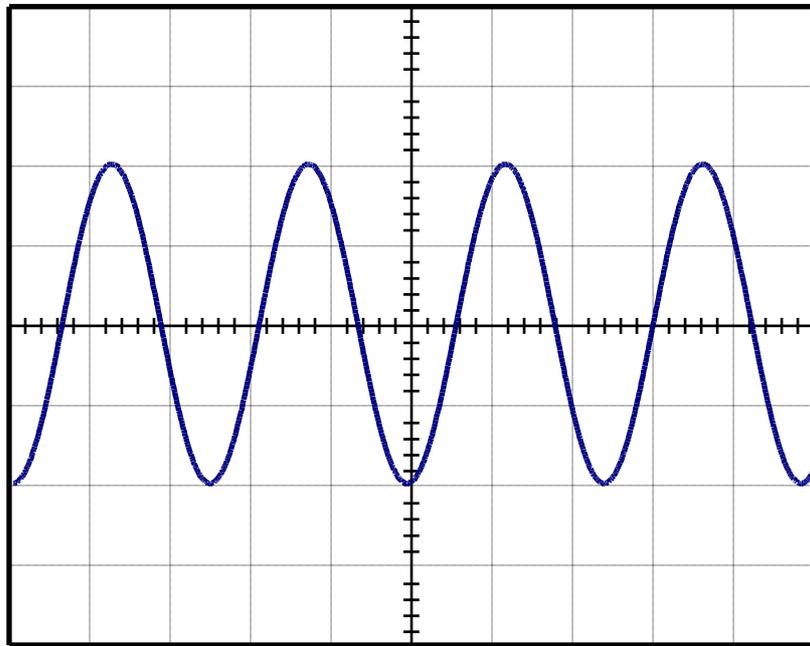
2.1. La vitesse de propagation des ondes sonores ou ultra-sonores dans un milieu donné dépend-elle de la fréquence de l'onde ?

2.2. Quelle est la valeur de la célérité des sons et des ultra-sons dans l'air sec à température ambiante ?

2.3. On se propose de retrouver expérimentalement cette valeur

2.3.1. Indirectement à partir de la mesure de la longueur d'onde.

Un GBF relié à un émetteur E et à un oscilloscope émet un signal sinusoïdal de fréquence f. On observe l'oscillogramme reproduit ci-dessous :



Sachant que la base de temps de l'oscilloscope est réglée à $10 \mu\text{s} / \text{division}$, retrouver la fréquence de l'onde émise par E.

Un récepteur R, placé en face de E, est relié à la deuxième voie de l'oscilloscope sur laquelle on observe une sinusoïde de même période mais d'amplitude plus faible. Pourquoi ?

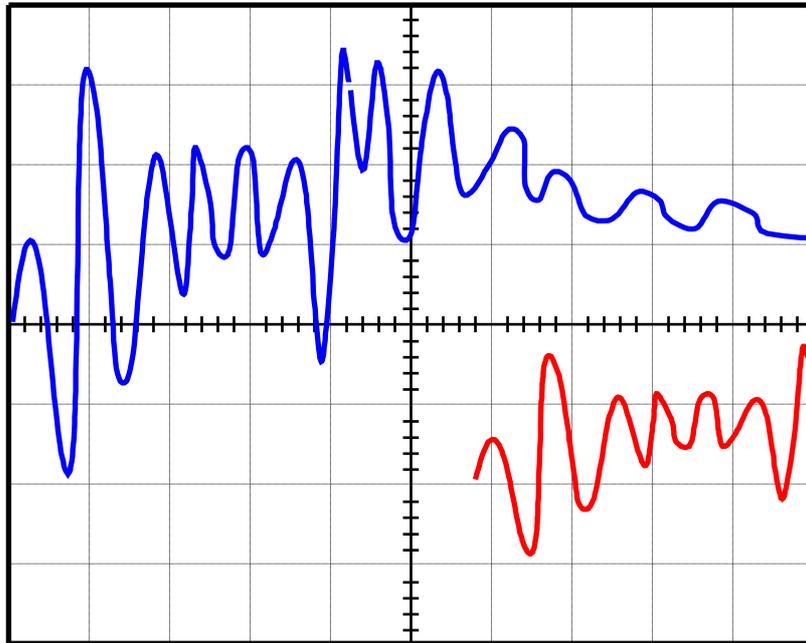
On éloigne R de E : la deuxième sinusoïde se déplace par rapport à la première. On repère une première coïncidence et on constate que la onzième coïncidence se produit quand on a éloigné R de E de 8,6 cm.

Déterminer la vitesse de propagation de l'onde émise par E sachant que l'on retrouve des signaux en phase à chaque fois que la distance entre E et R augmente d'une longueur d'onde.

2.3.2. Directement :

Deux microphones M_1 et M_2 distants de 1 mètre sont reliés respectivement aux deux voies A et B d'un oscilloscope à mémoire ; l'appareil enregistre sur la voie A le signal sonore obtenu en frappant des mains devant M_1 et sur la voie B le signal reçu par M_2 .

On observe l'oscillogramme suivant :



Sachant que la base de temps de l'oscilloscope est réglée à 0,5 ms/division, retrouver la vitesse de propagation du son dans l'air dans les conditions de l'expérience.

3. Réflexion et transmission d'une onde ultra-sonore à la surface de séparation de deux milieux d'impédance acoustique différente.

3.1. Rappeler l'expression de l'impédance acoustique Z d'un milieu en fonction de la masse volumique du milieu et de la célérité de l'onde acoustique dans ce milieu.

Quelle est l'unité utilisée ?

3.2 Si une onde ultrasonore arrive perpendiculairement à la surface de séparation de deux milieux d'impédance acoustique respective Z_1 et Z_2 , on rappelle que les coefficients de réflexion et de transmission sont donnés par :

$$\alpha_R = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2} \quad \alpha_T = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

On considère une interface graisse-muscle ; on connaît

- la masse volumique du muscle
- la masse volumique de la graisse
- la célérité du son dans le muscle
- la célérité du son dans la graisse

$$\begin{aligned} \rho_m &= 1,04 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3} \\ \rho_g &= 0,92 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3} \\ c_m &= 1,58 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1} \\ c_g &= 1,45 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1} \end{aligned}$$

Calculer les impédances acoustiques du muscle et de la graisse, les coefficients de réflexion et de transmission à une interface muscle-graisse et expliquer l'avantage d'un examen échographique sur un examen radiologique dans ce cas.

DEUXIÈME PARTIE : PROBLÈME. (30 POINTS)

Les deux problèmes sont indépendants et doivent être traités par le candidat.

Données communes aux deux problèmes :

Constante de Plank : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s

Charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C

Célérité de la lumière : $c = 3,0 \times 10^8$ m.s⁻¹

Unités d'activité : 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq

P1 : LA SCINTIGRAPHIE DU MYOCARDE

Pour réaliser des scintigraphies du myocarde pour l'évaluation de la perfusion myocardique, on peut utiliser une solution isotonique stérile de chlorure de thallium 201 d'activité volumique égale à 1 mCi / mL. L'examen nécessite l'injection par voie intraveineuse d'une activité de 78 MBq chez un individu de 70 kg, et on peut acquérir les premières images quelques minutes après l'injection. Le thallium 201 résulte de la désintégration du plomb 201 obtenu en bombardant une cible de thallium naturel par des protons.

Par capture électronique, le thallium 201 donne naissance à du mercure 201 (non radioactif) avec émission de photons γ d'énergie 135, 166 et 167 keV et de photons X d'énergie 69 keV et 83 keV.

La période du thallium 201 est de $T = 3,04$ jours.

Extrait du tableau périodique

| | | | | | | | |
|---------|---------------|----------------|-------------|---------------|----------------|--------------|-------------|
| Z | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 |
| élément | Hg Mercure | Tl Thallium | Pb Plomb | Bi Bismuth | Po Polonium | At Astate | Rn Radon |

1. L'élément thallium et ses isotopes

1.1. L'élément thallium ayant le numéro atomique 81, donner, en justifiant, la configuration électronique de plus basse énergie du thallium et le situer (ligne et colonne) dans le tableau périodique à 18 colonnes.

1.2. Le thallium naturel est un mélange des deux isotopes ²⁰³Tl et ²⁰⁵Tl à raison de 29,5% et 70,5% en masse respectivement.

1.2.1. Indiquer le nombre de protons et le nombre de neutrons contenus dans le noyau de chacun de ces isotopes.

1.2.2. Le plomb 201 se désintègre en thallium 201 par capture électronique ou par radioactivité β^+ . Écrire l'équation traduisant chacune de ces désintégrations.

2. La désintégration du thallium 201

2.1. Écrire l'équation traduisant la transformation du thallium 201 en mercure 201 par capture électronique et expliquer la production de photons γ d'une part et de photons X d'autre part.

2.2. Calculer les longueurs d'onde des photons d'énergie 69 keV et 83 keV. Calculer de même les longueurs d'onde des photons d'énergie 135 keV et 167 keV. Les résultats trouvés permettent-ils de différencier les photons X des photons γ ?

3. Injection et élimination du thallium 201

3.1. Calculer en s⁻¹ la constante radioactive λ_0 du thallium 201.

3.2. Quel est le volume de solution injecté à un patient de 70 kg et quel est le nombre d'atomes de thallium 201 reçus par ce patient au moment de l'injection ?

3.3. Calculer l'activité restante chez le patient deux heures après l'injection en l'absence de toute élimination biologique.

3.4. La période effective T_{eff} d'un radioélément qui tient compte de son élimination biologique et qui est égale au temps nécessaire pour que la radioactivité de l'organisme ait diminué de moitié, est liée à la période T par la relation :

$$T_{\text{eff}} = 0,693 T$$

Calculer la période effective dans le cas du thallium 201 et expliquer pourquoi cette période effective est toujours inférieure à la période T .

P2 : CONTRASTE RADIOLOGIQUE

1. Tube à rayons X

1.1. Un tube à rayons X est alimenté sous une tension $U = 45 \text{ kV}$.

Expliquer le phénomène à l'origine du spectre continu et établir la relation liant la tension d'alimentation du tube et la longueur d'onde la plus faible λ_{min} du rayonnement émis par ce tube.

1.2. Le nombre de photons émis par le tube varie avec la longueur d'onde. Les photons les plus nombreux ont une longueur d'onde $\lambda = 1,5 \lambda_{\text{min}}$. Calculer leur énergie en keV.

2. Contraste radiologique.

On donne les coefficients massiques d'atténuation de l'os, du muscle et de la graisse pour des faisceaux de photons X d'énergie 30 et 50 keV.

| Énergie en keV | 30 | 50 |
|---|-------|-------|
| Coefficient massique d'atténuation de l'os en $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ | 0,953 | 0,347 |
| Coefficient massique d'atténuation du muscle en $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ | 0,368 | 0,224 |
| Coefficient massique d'atténuation de la graisse en $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ | 0,296 | 0,210 |

Ainsi que les masses volumiques de l'os, du muscle et de la graisse.

$$\rho_{\text{os}} = 1,65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \quad \rho_{\text{muscle}} = 1,04 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \quad \rho_{\text{graisse}} = 0,916 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

Calculer les coefficients linéiques d'atténuation de l'os, du muscle et de la graisse pour les deux types de photons.

Après la traversée d'une épaisseur x d'un milieu homogène de coefficient d'atténuation μ , la fluence initiale X_0 d'un faisceau d'électrons est réduite à $X_0 e^{-\mu x}$; si le faisceau traverse une même épaisseur de deux milieux de coefficient d'atténuation linéique μ_1 et μ_2 le contraste radiologique est défini par :

$$\frac{e^{-\mu_1 x} - e^{-\mu_2 x}}{e^{-\mu_1 x} + e^{-\mu_2 x}}$$

Calculer la valeur de transmission $e^{-\mu x}$ à la traversée de 4 cm d'os, de muscle et de graisse, puis la valeur des contrastes radiologiques muscle / os, graisse / muscle, graisse / os, dans le cas de photons de 30 keV d'une part et de 50 keV d'autre part.

2.3. Quelle conclusion s'impose quant à la valeur de la tension d'alimentation du tube X pour ce type de radiographie ?