

**DIPLÔME DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**  
**EN IMAGERIE MÉDICALE ET RADIOLOGIE**  
**THÉRAPEUTIQUE**

Durée de l'épreuve : 3 heures

Coefficient : 3

*PHYSIQUE*

**Le sujet comporte 10 pages numérotées de 1/10 à 10/10**

**L'usage de la calculatrice est autorisé.**

## PHYSIQUE

## PREMIERE PARTIE : CONTROLE DE CONNAISSANCES (30 points)

## C1 : Questionnaire à choix multiples (24 points)

Les propositions faites pour chaque question peuvent être vraies ou fausses.  
Compléter le document réponse de la feuille annexe à rendre avec la copie pour chacune des propositions par (V) si elle est vraie ou par (F) si elle est fausse.

**Données :**  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$      $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$      $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

- 1) Quand on augmente la tension appliquée aux bornes d'un tube de Coolidge :
  - a) Le flux des rayons X augmente
  - b) Les rayons X produits sont plus pénétrants
  - c) La longueur d'onde minimum  $\lambda_0$  des rayons émis diminue
  - d) La longueur d'onde  $\lambda_{\text{max}}$  (correspondant au maximum d'intensité) diminue
  
- 2) Dans l'interaction rayons X/matière par effet photoélectrique :
  - a) Il y a absorption totale du photon incident
  - b) Le rayonnement de fluorescence émis dépend de l'atome cible
  - c) Il peut y avoir émission d'un électron Auger
  - d) L'énergie du photon incident doit être supérieure mais voisine de la valeur absolue de l'énergie de liaison de l'électron concerné
  
- 3) Dans l'interaction rayons X/matière par effet Compton :
  - a) Toute l'énergie du photon incident peut être transmise à l'électron
  - b) Le photon diffusé est toujours émis vers l'avant
  - c) L'électron émis peut être projeté vers l'arrière
  - d) L'effet Compton se produit avec des électrons fortement liés au noyau de l'atome
  
- 4) Dans un tube de Coolidge, la puissance totale rayonnée est :
  - a) Proportionnelle à l'intensité du courant d'alimentation du tube
  - b) Proportionnelle au carré de la tension accélératrice
  - c) Indépendante de la nature de l'anticathode
  - d) Dépend de la forme de l'anticathode
  
- 5) Le rendement d'un tube de Coolidge est :
  - a) Proportionnel au numéro atomique de l'anticathode
  - b) Indépendant de la nature de la cathode

- c) Proportionnel à la tension accélératrice
- d) Proportionnel à l'intensité du courant d'alimentation

6) Le rendement d'un tube de Coolidge à anticathode de platine est 2%, il fonctionne sous une tension  $V = 50 \text{ kV}$  et un courant d'intensité  $I = 3 \text{ mA}$ . La puissance totale rayonnée a pour valeur :

- a) 3 W
- b) 3 mW
- c) 3 J
- d) 3 MeV

7) La C.D.A. du plomb pour des rayons X de 100 KeV est de 0,14 mm

1°) Le coefficient d'atténuation linéique a pour valeur :

- a)  $4,95 \text{ mm}^{-1}$
- b)  $49,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^{-1}$
- c)  $4,95 \cdot 10^3 \text{ m}^{-1}$
- d)  $4,95 \text{ m}^{-1}$

2°) Quelle est l'épaisseur de plomb qui réduit le flux de ce rayonnement au  $1/1000^{\text{ème}}$  de sa valeur ?

- a)  $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- b) 140 mm
- c) 1,4 mm
- d) 1,4 dm

8) Un tube de Coolidge à anode de platine est alimenté sous 100 kV et 100 mA.

1°) Quelle est l'énergie des rayons X les plus pénétrants ?

- a) 100 kJ
- b)  $1,6 \cdot 10^{-14} \text{ eV}$
- c) 100 keV
- d)  $1,6 \cdot 10^{-14} \text{ J}$

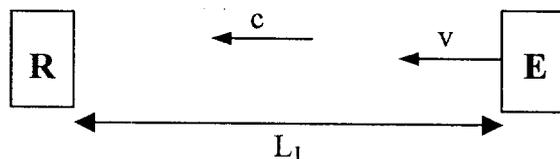
2°) Quelle est la longueur d'onde  $\lambda_0$  des rayons X les plus pénétrants ?

- a)  $1,24 \cdot 10^{-11}$  m
- b)  $1,24 \cdot 10^{-2}$  nm
- c)  $1,24 \cdot 10^{-8}$  m
- d) 12,4 nm

**Q2. Les ultrasons (10 points)**

1. Quelle est la nature des ultrasons ?
2. Quelle est la gamme de fréquences des ultrasons ?
3. Quel est le nom du phénomène qui permet de générer ces ultrasons ?
4. Qu'appelle-t-on impédance acoustique  $Z$  d'un milieu ? Quelle est son unité ?
5. Effet Doppler : La fréquence reçue par un récepteur est différente de la fréquence émise par un émetteur quand émetteur et récepteur sont en mouvement relatif. Nous vous proposons de retrouver ce résultat par un calcul simple.

Soit un émetteur de « bips » ultrasonores **E** qui se rapproche à la vitesse  $v$  d'un récepteur **R** immobile.



Soit  $T$  et  $\nu$  la période et la fréquence d'émission des « bips ».

Les « bips » se propagent à la célérité  $c$  dans le milieu élastique qui sépare **R** de **E**.

À l'instant  $t_1 = 0$ , **E** est à la distance  $L_1$  de **R** et émet le premier « bip » (cf figure ci-dessus).

- 5.1 Exprimer  $\Delta t_1$ , temps mis par ce « bip » pour arriver en **R** ?
- 5.2 À quel instant  $\tau_1$  arrivera-t-il en **R** ? (On rappelle que l'instant d'arrivée est égale à l'instant de départ plus le temps de parcours).
- 5.3 Le deuxième « bip » est émis à l'instant  $t_2 = T$ . A cet instant, à quelle distance  $L_2$ , **E** se trouve-t-il de **R** ?
- 5.4 Combien de temps  $\Delta t_2$  mettra ce deuxième « bip » pour arriver en **R** ?
- 5.5 À quel instant  $\tau_2$  arrivera-t-il en **R** ?
- 5.6 Le troisième « bip » est émis à l'instant  $t_3 = 2T$ . A cet instant, à quelle distance  $L_3$ , **E** se trouve-t-il de **R** ?
- 5.7 Combien de temps  $\Delta t_3$  mettra ce troisième « bip » pour arriver en **R** ?
- 5.8 À quel instant  $\tau_3$  arrivera-t-il en **R** ?
- 5.9 Calculer  $\Delta \tau_1 = \tau_2 - \tau_1$  puis  $\Delta \tau_2 = \tau_3 - \tau_2$  et conclure.

**DEUXIEME PARTIE : PROBLEME (30 points)**

**TOMOGRAPHIE PAR EMISSION DE POSITONS**

En cancérologie, cardiologie et neurologie, l'imagerie par émission de positons (T.E.P) utilise comme traceur : le fluorodésoxyglucose ( $^{18}\text{FDG}$ ).

L'appareil construit une image à partir du rayonnement  $\gamma$  émis lors de l'annihilation des positons émis par la désintégration du fluor 18 ( $^{18}\text{F}$ ).

Le fluor 18 qui marque un dérivé du glucose est préparé par l'interaction d'un proton  $^1_1\text{p}$  d'énergie 16 MeV avec un atome d'oxygène 18 ( $^{18}\text{O}$ )

Les protons de 16 MeV sont produits par un cyclotron.

La période du fluor 18 étant de  $T = 2 \text{ h}$ , le centre de physique nucléaire prépare tous les jours, tôt le matin, des doses calibrées de solutions de FDG qu'elle envoie dans les centres de radiologie. Les doses sont calibrées au départ pour que celles-ci aient la bonne activité au moment de l'injection et de la tomographie.

**Données :**

$$1 \text{ eV} = 1,60.10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Unités d'activité } 1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

$$\text{charge élémentaire } e = 1,60.10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{célérité de la lumière dans le vide } c = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{masse du proton } m_p = 1,67.10^{-27} \text{ kg}$$

Numéro atomique Z	7	8	9	10
Élément	N Azote	O Oxygène	F Fluor	Ne Néon

**A- Etude du Cyclotron (15 points)**

Le cyclotron est constitué de deux « dees » ( $D_1, D_2$ ) conducteurs dans le vide dans lesquels règne un champ magnétique uniforme constant  $\vec{B}$  ( $B = 2T$ ). On applique entre ces « dees » une tension alternative sinusoïdale  $u(t) = U_{\max} \sin(\omega \cdot t)$  qui accélère les protons  ${}^1_1p$  quand ils passent entre les deux « dees ».

Les protons sortent d'une chambre d'ionisation au voisinage du centre O de l'appareil avec une vitesse supposée négligeable au moment où la tension appliquée aux « dees » est maximum :  $U_{\max} = 20 \text{ kV}$

**A1 : Donner sans démonstration la nature du mouvement des protons :**

1. Entre les deux « dees »
2. A l'intérieur de  $D_1$  ou  $D_2$

**A2 : Représenter sur le schéma du cyclotron de la feuille annexe à rendre avec la copie :**

1. Le champ électrique  $\vec{E}$  quand le proton passe de  $D_2$  à  $D_1$   
Quel est à cet instant le signe de  $u(t) = v_{D2} - v_{D1}$  ?
2. Le champ magnétique défecteur  $\vec{B}$
3. Les vecteurs vitesse  $\vec{v}_1$  et  $\vec{v}_2$  en  $E_1$  et M
4. La force magnétique  $\vec{F}_M$  qui s'exerce sur le proton quand il passe en M.

**A3 : Energie et vitesse**

1. Quelle est, en électronvolt et en joule, la variation d'énergie cinétique  $\Delta E$  des protons quand ils passent d'un « dee » à l'autre ?
2. En supposant leur énergie négligeable quand ils sont émis en O, quelle est, en électronvolt et en joule leur énergie cinétique  $E_n = f(n)$  quand ils sont passés n fois d'un « dee » à l'autre ?
3. Quelle est alors la vitesse  $v_n = f(n)$  de ces protons supposés non relativistes ?
4. Quelle est dans ce cas le rayon  $R_n = f(n)$  de la trajectoire ? (On rappelle que  $R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$ )
5. Quel est le temps  $t_{1/2}$  mis par ces protons pour effectuer un demi-tour ? Conclusion.
6. Quel doit être la période T de la tension sinusoïdale accélératrice ainsi que sa fréquence f ?

**A4 : Vitesse finale**

1. Les protons sortant du cyclotron avec une énergie finale  $E_{cf} = 16 \text{ MeV}$ , combien de fois N seront-ils passés entre les « dees » ?
2. Combien de tours N' auront ils fait ?
3. A quelle vitesse  $v_s$  sortent ils si on les considère non relativistes ?

4. En réalité, ces protons sont relativistes. Dans ce cas,  $E_{cf} = (\gamma - 1) m \cdot c^2$

4.1. Calculer  $\gamma$

4.2. On donne  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v'_s}{c}\right)^2}}$ . Calculer  $\left(\frac{v'_s}{c}\right)^2$  puis  $v'_s$  (vitesse relativiste des protons).

4.3. Quelle erreur relative  $\left(\frac{v_s - v'_s}{v'_s}\right)$  commet-on sur la vitesse en supposant ces protons non relativistes ?

### -B- Préparation du $^{18}\text{F}$ FDG (15 points)

**B1 : L'isotope 18 du Fluor ( $^{18}\text{F}$ ) est obtenu par réaction nucléaire d'un proton de 16 MeV avec un isotope 18 d'oxygène ( $^{18}\text{O}$ ).**

1. Écrire l'équation de cette réaction nucléaire ( **p, n** )
2. Quelles sont les lois appliquées ?

**B2 : Le fluor 18 ( $^{18}\text{F}$ ) est émetteur  $\beta^+$ , écrire la réaction de désintégration.**

**B3 : Le chemin suivi par le positon émis est très court, il est freiné par la matière et s'annihile en fin de course avec un électron ( ${}^0_{-1}e^-$ ) du milieu.**

Écrire cette équation d'annihilation.

- Quelle est la nature des particules émises ?
- Dans quelles directions relatives sont elles émises ?
- Quelles sont leurs énergies ?

**B4 : Préparation de la dose**

Après 2 heures de tir de protons de 16 MeV sur 1 mL d'eau enrichie à 95% en oxygène 18 et une synthèse du  $^{18}\text{F}$  FDG qui dure environ une heure, on obtient à **6 heures** du matin une solution de  $^{18}\text{F}$  FDG d'activité  $A_0 = 110 \text{ GBq}$ . L'activité volumique maximum autorisée étant  $a_v = 250 \text{ MBq} \cdot \text{mL}^{-1}$ , on procède à une dilution, afin d'avoir à cette heure là, un volume  $V_i$  de solution ayant juste cette activité volumique maximum autorisée.

Calculer ce volume  $V_i$ .

**B5 : Ajustage de la dose**

À partir de cette solution, on prépare à **6 heures** du matin des lots dont l'activité doit être de  $A_{inj} = 10$  mCi au moment de l'injection.

1. Calculer  $A_{inj}$  en MBq.
2. La période du fluor 18 ( $^{18}\text{F}$ ) est  $T = 2$  heures, calculer sa constante radioactive  $\lambda$  en unité S.I.
3. L'un des lots va être injecté à un patient à 10 heures du matin.
  - 3.a. Quelle était l'activité  $A_i$  de ce lot à 6 heures du matin, heure de sa préparation ?
  - 3.b. Quel est le volume  $V$  de ce lot ?
  - 3.c. Combien de noyaux  $N_0$  de fluor 18 ( $^{18}\text{F}$ ) contient-il au moment de l'injection ?
4. Le patient arrive en retard à son rendez-vous, et l'injection ne peut être faite qu'à 10h30.
  - 4.a. Calculer l'activité  $A'_{inj}$  du lot injecté à 10h30.
  - 4.b. L'image que donne l'appareil, n'est exploitable que si la dose injectée est supérieure à  $A_{lim} = 8$  mCi. La dose prévue pour 10 heures peut-elle être injectée à 10h30 à ce patient ?

**FEUILLE ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**

**Q<sub>1</sub> : Q.C.M.**

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
<b>1</b>				
<b>2</b>				
<b>3</b>				
<b>4</b>				
<b>5</b>				
<b>6</b>				
<b>7.1</b>				
<b>7.2</b>				
<b>8.1</b>				
<b>8.2</b>				

**FEUILLE ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**

**Problème : -A- Étude du cyclotron  $A_1$**

