PREMIÈRE PARTIE : CONTRÔLE DES CONNAISSANCES

Q1 : Questionnaire à choix multiples

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 : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1}.

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 λ_0 des rayons émis diminue
   d) La longueur d'onde λ_{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 kV et un courant d'intensité I = 3 mA. La puissance totale rayonnée a pour valeur :
   a) 3 W
   b) 3 mW
   e) 3 J
   d) 3 MeV

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

7.1) Le coefficient d'atténuation linéique a pour valeur :
- a) 4,95 mm^{-1}
- b) 49,5 × 10^{-3} mm^{-1}
- c) 4,95 × 10^{3} m^{-1}
- d) 4,95 m^{-1}

7.2) Quelle est l'épaisseur de plomb qui réduit le flux de ce rayonnement au 1/1000 me de sa valeur ?
- a) 1,4 × 10^{-3}m
- b) 140 mm
- e) 1,4 mm
- d) 1,4 dm

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

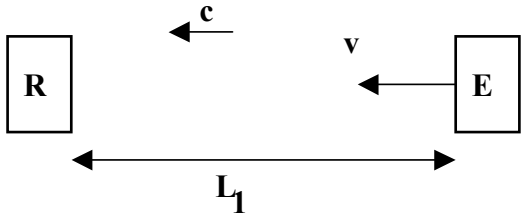
8.1) Quelle est l'énergie des rayons X les plus pénétrants ?
- a) l00 kJ
- b) 1,6 × 10^{-14} eV
- e) 100 keV
- d) 1,6 × 10^{-14} J

8.2) Quelle est la longueur d'onde λ_0 des rayons X les plus pénétrants ?
- a) 1,24 × 10^{-11} m
- b) 1,24 × 10^{-2} nm
- c) 1,24 × 10^{-8} m
- d) 12,4 nm

Q2 : Les ultrasons

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.



Soient T et ν 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 Δt_1, temps mis par ce «bip » pour arriver en R.
5.2. À quel instant τ_1 arrivera t-il en R ? (On rappelle que l'instant d'arrivée est égal 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 Δt_2 mettra ce deuxième «bip » pour arriver en R ?
5.5. À quel instant τ_2 arrivera t-il en R ?
5.6. Le troisième «bip» est émis à l'instant $t_3 = 2$ T. A cet instant, à quelle distance L_3 E se trouve-t-il de R ?
5.7. Combien de temps Δt_3 mettra ce troisième «bip » pour arriver en R ?
5.8. À quel instant τ_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.

DEUXIÈME PARTIE : PROBLÈME

Tomographie par émission de positrons

En cancérologie, cardiologie et neurologie, l'imagerie par émission de positons (T.E.P) utilise comme traceur: le fluorodésoxyglucose (**^{18}FDG**)
L'appareil construit une image à partir du rayonnement γ émis lors de l'annihilation des positons émis par la désintégration du fluor 18 (**^{18}F).**
Le fluor 18 qui marque un dérivé du glucose est préparé par l'interaction d'un proton p d'énergie 16 MeV avec un atome d'oxygène 18 (**^{18}0**)
Les protons de 16 MeV sont produits par un cyclotron.
La période du fluor 18 étant de T = 2 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 eV = 1,602 × 10^{-19} J**
unités d'activité 1 Ci = 37 GBq = 3,7 × 10^{10} Bq
charge élémentaire e = 1,60 × 10^{-19} C
célérité de la lumière dans le vide c = 3,00 × 10^{8} m.s^{-1}
masse du proton m = l,67 × 10^{-27} kg
masse de l'électron m = 9,1 × 10^{-31} kg

Numéro atomique Z	7	8	9	10
Symbole	N	O	F	Ne
Élément	azote	oxygène	fluor	néon

A : étude du cyclotron

Le cyclotron est constitué de deux «dees» (D_1, D_2) conducteurs dans le vide desquels règne un champ magnétique uniforme constant $\overrightarrow{B}$ (B = 2,0 T). On applique entre ces «dees» une tension alternative sinusoïdale $u(t) = U_{max} \sin(\omega t)$ qui accélère les protons $^{1}_{1}p$ 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 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 $\overrightarrow{E}$ 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 déflecteur $\overrightarrow{B}$
3. Les vecteurs vitesse $\overrightarrow{v_1}$ et $\overrightarrow{v_2}$ en E_1 et M
4. La force magnétique $\overrightarrow{F_M}$ qui s'exerce sur le proton quand il passe en M.

A3 : Énergie et vitesse

1. Quelle est, en électronvolt et en joule, la variation d'énergie cinétique ΔE 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 $v = f(n)$ de ces protons supposés non relativistes ?
4. Quelle est dans ce cas le rayon $R = f(n)$ de la trajectoire ? (On rappelle que $R = \frac{mv}{qB}$)
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 $E_{CF} = 16$ 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, $E_{CF} = (\gamma - 1)\, mc^2$

4.1. Calculer γ

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}FDG

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

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

B2 : Le fluor 18 (^{18}F) est émetteur β^+ ; 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 ($^0_1e^-$) 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}FDG** qui dure environ une heure, on obtient à **6 heures du matin** une solution de **^{18}FDG** d'activité A_0 = 110 GBq. L'activité volumique maximum autorisée étant a_V = 250 MBq.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 10 mCi au moment de l'injection.

1. Calculer A_{inj} en MBq.
2. La période du fluor 18 (^{18}F) est T = 2 heures , calculer sa constante radioactive λ en unité SI.
3. L'un des lots va être injecté à un patient à 10 heures du matin.

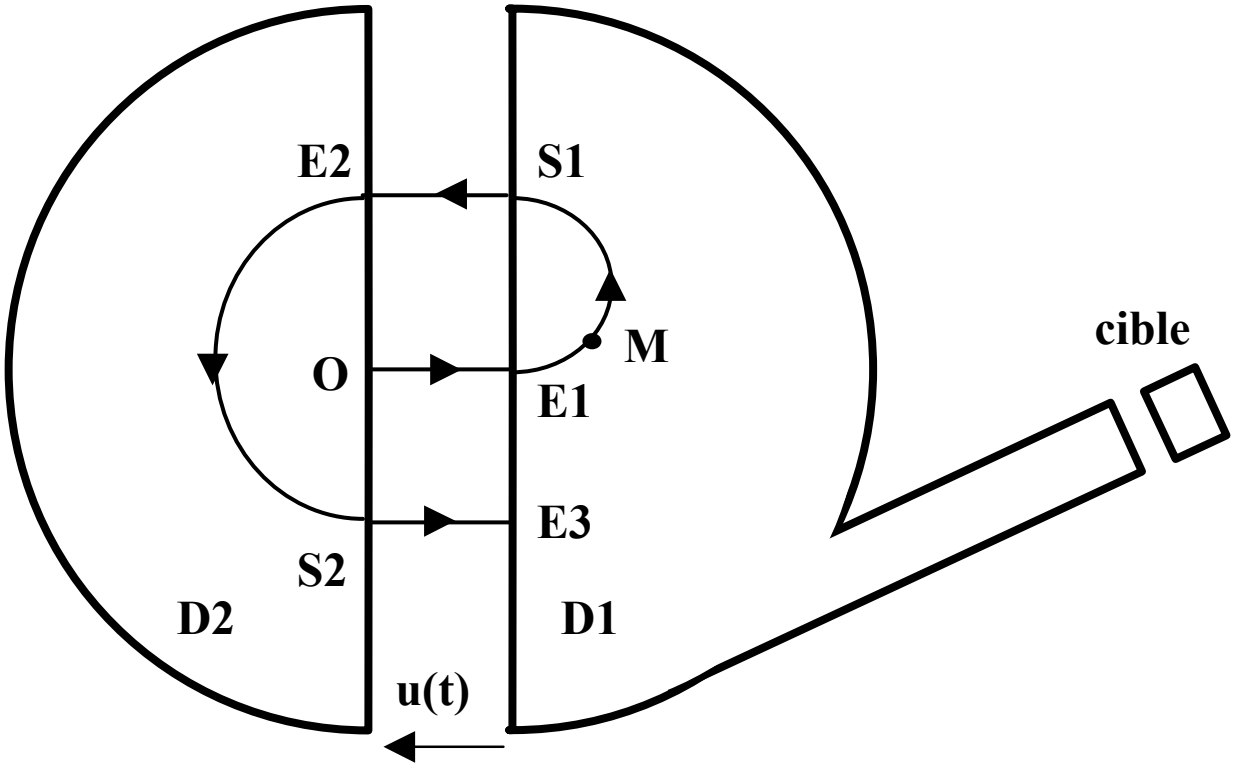
3.a. Quelle était l'activité A_i de ce lot à 6 heures du matin, heure de sa préparation ?

3.b. Quel est le volume V de ce lot ?

3.c. Combien de noyaux N_0 de fluor 18 (^{18}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 du lot A'_{inj} injecté à 10h30.

4.b. L'image que donne l'appareil, n'est exploitable que si la dose injectée est supérieure A_{lim} = 8 mCi. La dose prévue pour 10 heures peut-elle être injectée à 10h30 à ce patient ?

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