

PREMIÈRE PARTIE : CONTRÔLE DES CONNAISSANCES

Données : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
 $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

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.

- 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 $V = 50 \text{ kV}$ 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

7.1) Le coefficient d'atténuation linéique a pour valeur :

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

7.2) Quelle est l'épaisseur de plomb qui réduit le flux de ce rayonnement au 1/1000 me de sa valeur ?

- a) $1,4 \times 10^{-3} \text{ m}$
- 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) 100 kJ
- b) $1,6 \times 10^{-14} \text{ eV}$
- e) 100 keV
- d) $1,6 \times 10^{-14} \text{ J}$

8.2) Quelle est la longueur d'onde λ_0 des rayons X les plus pénétrants ?

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

Q2 : Étude d'un cyclotron

Le cyclotron est constitué de deux «dees» (D_1 , D_2) conducteurs, dans le vide desquels règne un champ magnétique uniforme constant \vec{B} ($B = 2,0 \text{ T}$). On applique entre ces «dees» une tension alternative sinusoïdale $u(t) = U_{\max} \sin(\omega t)$ qui accélère les protons $|p$ 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 : $U_{\max} = 20 \text{ kV}$

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_1 à D_2 . Quel est à cet instant le signe de $u(t) = V_{D_2} - V_{D_1}$?
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 : 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 $E_{CF} = 16 \text{ MeV}$, 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, $E_C = (\gamma - 1) m c^2$
- 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 ?

PROBLÈME

La plupart des questions peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.

Données:

Masse d'un deuton	$m_d = 2,014102 \text{ u}$
Masse d'un neutron	$m_n = 1,008665 \text{ u}$
Masse d'un électron	$m_e = 0,000548 \text{ u}$
Masse d'un atome de tellure 122	$M_{Te} = 121,903047 \text{ u}$
Masse d'un atome d'iode 123	$M_I = 122,905598 \text{ u}$

On négligera l'énergie de liaison des électrons

unité de masse atomique	$1 \text{ u} = 1,661 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV} / c^2$
Charge élémentaire	$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
Constante de Planck	$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
unité d'activité	$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$

Rayon de la trajectoire d'une particule de charge q , de masse m , dans un champ magnétique \vec{B} perpendiculaire à la vitesse \vec{v} : $r = mv / |q|B$

Extraits de la classification périodique :

Élément	Sb antimoine	Te tellure	I iode	Xe xénon	Cs césium
Z	51	52	53	54	55
Élément	C carbone	N azote	O oxygène	F fluor	Ne néon
Z	6	7	8	9	10

L'imagerie scintigraphique utilise des traceurs et des marqueurs.

Un traceur est une substance qui peut se localiser de façon sélective au niveau d'une structure particulière de l'organisme.

Un marqueur est un nucléide radioactif qui se prête aisément à une détection externe. L'association d'un traceur et d'un marqueur permet, grâce au marqueur, de suivre l'évolution du traceur dans l'organisme.

1- Les différentes familles de marqueurs

Le marqueur doit émettre des photons γ afin de pouvoir être détecté à l'extérieur de l'organisme à l'aide d'une gamma-caméra. Trois familles de marqueurs sont utilisées

1-1. Les émetteurs (β^- , γ).

L'iode 131 appartient à cette catégorie.

a) Écrire l'équation de sa désintégration β^-

b) Expliquer l'origine du rayonnement γ qui accompagne la désintégration β^- .

1-2. Les émetteurs β^+

L'oxygène 15 appartient à cette catégorie.

a) Écrire l'équation de la désintégration β^+

b) Que devient le positon émis au cours d'une désintégration β^+ ? En déduire l'origine des photons γ .

1-3. Les émetteurs γ purs par capture électronique.

Le technétium 99 métastable appartient à cette catégorie.

a) D'où provient l'électron capturé par le noyau de technétium ?

b) Pourquoi dit-on qu'il s'agit d'une transformation isobarique ?

c) Donner l'allure de la courbe de stabilité qui représente le nombre de neutrons N (en ordonnée) en fonction du numéro atomique Z (en abscisse).

c-1) Situer sur cette courbe les zones de radioactivité β^+ .

c-2) Comment sont situés les isotopes d'un même élément ?

c-3) Les nucléides qui peuvent subir la capture électronique et la désintégration β^+ sont-ils toujours au dessous de la droite $N = Z$? Justifier en envisageant le cas des nucléides légers et celui des nucléides lourds.

2- Production des radioéléments utilisés à l'aide d'un cyclotron

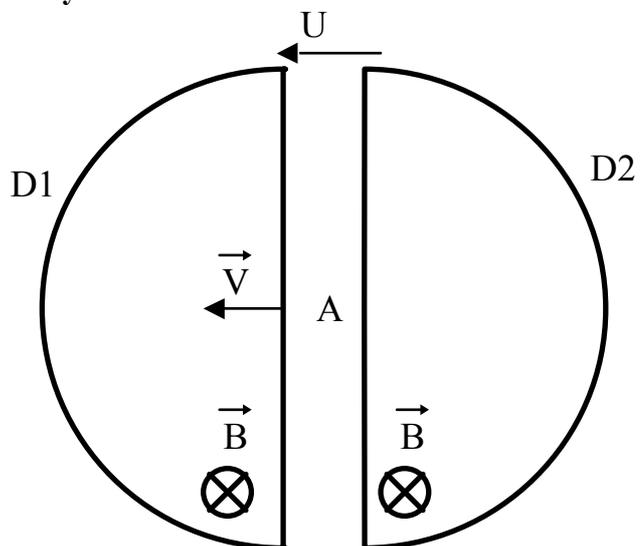
Les accélérateurs de type cyclotron permettent d'obtenir des particules chargées lourdes (protons, deutons...) de haute énergie susceptibles de provoquer des réactions nucléaires.

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} .



a) Représenter la force magnétique qui s'exerce sur un deuton en A.

b) De quel type est le mouvement des deutons dans D_1 ? Représenter la trajectoire correspondante en indiquant le sens du mouvement.

c) 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.

d) Quel doit être le sens du champ électrique entre les dees pour que les deutons soient accélérés à leur sortie de D_1 ? Le représenter.

e) Quel est alors le signe de la tension U entre les dees ?

- f) Les deutons pénètrent dans D_2 en un point C. Décrire leur mouvement.
 Quel est le temps de parcours dans D_2 ?
- g) Ils sortent de D_2 en C'. Quels doivent être le sens du champ électrique et le signe de la tension U entre les dees pour qu'ils soient à nouveau accélérés ?
- h) Calculer la fréquence de la tension alternative qu'il faut appliquer entre les dees.
- i) 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 $R_m = 0,40$ m. Calculer leur énergie cinétique en joule, puis en MeV.

L'iode 123 est produit par réaction nucléaire entre des deutons de haute énergie et du tellure 122.

3- Scintigraphie thyroïdienne.

L'iode radioactif est le traceur physiologique de référence ; il sert à la fois de traceur et de marqueur.

3-1. Utilisation de l'iode 131

3-1-1. Rayonnement γ .

- a) L'iode 131 a une période radioactive $T = 8$ jours. Que signifie cette affirmation ?
- b) Pour une scintigraphie thyroïdienne, un patient adulte doit ingérer par voie orale une quantité d'iode 131 d'activité égale à 1,85 MBq. On supposera que l'excrétion métabolique de l'iode est inexistante. Le délai entre l'administration du traceur et la réalisation des images est de 24 heures. Quelle est l'activité de l'iode dans le corps au moment où les images sont réalisées ?

3-1-2. Rayonnement β^- .

L'énergie d'une particule β^- est égale à 610 keV.

- a) Cette particule est-elle directement ou indirectement ionisante ? Justifier.
- b) Il faut une énergie moyenne de 32 eV pour créer une paire ion-électron dans l'eau. Les tissus biologiques étant assimilables à de l'eau, calculer le nombre moyen d'ionisations créées par une particule
- c) Un électron de 610 keV a un parcours moyen de 2 mm dans les tissus. Calculer la densité linéique d'ionisations (DLI) et le transfert d'énergie linéique (TEL ou TLE).

3-2. Utilisation de l'iode 123

L'iode 123 est un émetteur γ pur. Sa période est de 13,2 heures.

- a) Calculer sa constante radioactive λ en s^{-1} .
- b) Pour une scintigraphie thyroïdienne, il faut injecter à un patient adulte une quantité d'iode 123 d'activité égale à 7,4 MBq. Combien d'atomes d'iode a-t-on injectés ?
- c) Le délai entre l'administration du traceur et la réalisation des images est de 2 à 4 heures. Quel est le pourcentage de perte d'activité en 4 heures ?

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

