

IMRT2 : DEVOIR 2 : 1011

Données :

charge élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
masse de l'électron : $m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
masse du proton : $m_p = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
masse du neutron : $m_n = 1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$

célérité de la lumière : $c = 3,000 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
constante de Planck : $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
nombre d'Avogadro : $6,02 \times 10^{23}$
masse du deuton : $m_p = 3,343 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Q1 : Compléter le tableau réponse ci-après (V pour Vrai et F pour Faux)

1. L'expression relativiste de l'énergie cinétique d'une particule est :

$$A: E_C = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$B: E_C = \left(\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$C: E_C = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$D: E_C = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + 1 \right)$$

2. Les unités suivantes correspondent à des masses :

A : gramme (g) B : newton (N) C : Mev.c⁻² D : joule (J)

3. Les unités suivantes correspondent à des énergie :

A : mégaélectronvolt B : newton.mètre (N.m) C : watt.heure (W.h) D : calorie (cal)

4. L'énergie de masse d'un neutron au repos vaut :

A : 939 MeV B : 939 eV C : $1,5 \times 10^{-13} \text{ J}$ D : 0,15 nJ

5. La vitesse d'un proton d'énergie cinétique $E_C = 470 \text{ eV}$ vaut :

A : $3 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$ B : $3 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$ C : $3 \times 10^9 \text{ m.s}^{-1}$ D : 300 km.s⁻¹

6. La vitesse d'un électron vaut $v = 2 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

A : cet électron est "relativiste". C : son énergie cinétique vaut 0,511 MeV
B : son énergie cinétique vaut : $9,1 \times 10^{-19} \text{ J}$ D : son énergie totale est supérieure à 0,511 MeV

7. Un électron de vitesse initiale négligeable est accéléré par une différence de potentiel $U = 15 \text{ kV}$.

A : la vitesse de l'électron vaut $v = 7,3 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$ C : son énergie cinétique vaut $E_C = 2,4 \times 10^{-15} \text{ J}$
B : cet électron est "relativiste". D : l'énergie mc^2 de l'électron vaut 526 keV.

8. La fréquence d'une radiation électromagnétique vaut $\nu = 90 \text{ GHz}$

A : la longueur d'onde vaut 3,3 mm C : l'énergie des photons vaut $6,0 \times 10^{-20} \text{ J}$
B : ce sont des rayons X D : l'énergie des photons vaut 3,7 eV

9. L'énergie d'un photon vaut 5,0 keV

A : son énergie vaut $8,0 \times 10^{-16} \text{ J}$ C : la fréquence de l'onde associée vaut $1,2 \times 10^{18} \text{ Hz}$
B : sa masse vaut $8,9 \times 10^{-33} \text{ kg}$ D : il appartient au domaine des rayons X

10. La longueur d'une radiation électromagnétique vaut $\lambda = 589,3 \text{ nm}$.

A : l'énergie des photons correspondants vaut $3,37 \times 10^{-19} \text{ J}$ C : la couleur correspondante est le jaune
B : l'énergie des photons correspondants vaut 2,1 eV D : c'est un rayonnement infrarouge

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A										
B										
C										
D										

Q2 : Spectrographe de masse.

1. Un proton, de masse m et de charge q , placé dans un champ électrique uniforme \vec{E} est soumis à une force électrique. Le champ électrique est obtenu en maintenant entre deux plaques conductrices parallèles et distantes de $d = 10 \text{ cm}$ une différence de potentiel $U = 5,0 \text{ kV}$. Les plaques sont dans le vide et percées l'une en A et l'autre en D pour permettre le passage des particules (voir figure jointe). Le proton est initialement au repos en A.

1.1. Donner les caractéristiques de la force électrique \vec{F} à laquelle le proton est soumis. Comparer sa valeur au poids du proton (on donne $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$).

1.2. Donner les caractéristiques de l'accélération du proton entre les deux plaques.

1.3. Donner les caractéristiques du mouvement et de la trajectoire du proton entre A et D.

1.4. Calculer l'énergie cinétique puis la valeur de la vitesse \vec{v} du proton en D.

2. En D l'action du champ \vec{E} cesse et le proton pénètre dans un champ magnétique uniforme \vec{B} de valeur $B = 0,08 \text{ T}$, de direction perpendiculaire à \vec{v} .

2.1. Donner l'expression du rayon r de la circonférence de la trajectoire ; parmi les valeurs proposées ci-après, choisir la valeur de r en justifiant la réponse.

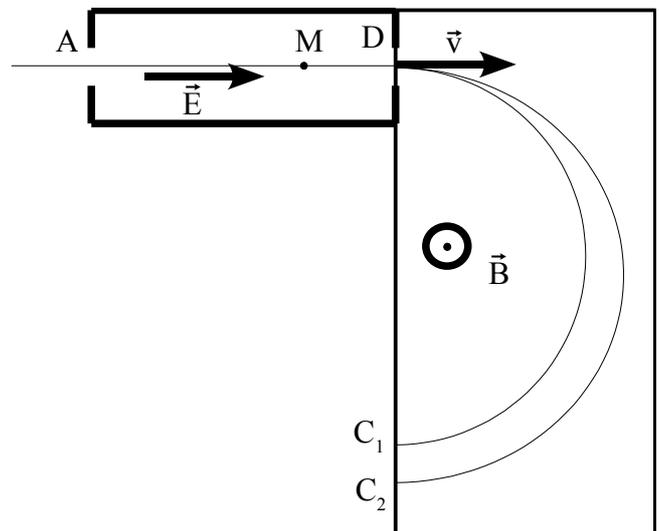
1,27 m ; 2,51 cm ; 0,127 m ; 0,833 m ; 1,27 cm ; 8,33 cm ; 17,3 cm ; 2,71 cm ; 25,1 m ; 1,27 mm ;

2.2. Comment évolue l'énergie cinétique du proton au cours de son mouvement dans le champ \vec{B} ? Justifier.

3. Une seconde particule, de masse M inconnue, de même charge q , également au repos en A, subit d'abord l'action de \vec{E} , puis celle de \vec{B} dans les mêmes conditions. Le rayon de sa trajectoire vaut R .

3.1. Démontrer que $\frac{m}{M} = \frac{r^2}{R^2}$

3.2. On mesure $DC_2 = 36,2 \text{ cm}$. Calculer la valeur de la masse M ; identifier la particule.



SECONDE PARTIE : PROBLÈME .

extraits de la classification périodique :

6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180
-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	---------------------------

51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
---------------------------	---------------------------	--------------------------	---------------------------

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.

1.1.1. Écrire l'équation de sa désintégration β^- .

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

1.2. Les émetteurs β^+ .

L'oxygène 15 appartient à cette catégorie.

1.2.1. Écrire l'équation de la désintégration β^+ .

1.2.2. 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.

L'iode 123 se désintègre par capture électronique. Il y a émission de photons γ de 159 keV.

1.3.1. Écrire l'équation de sa désintégration.

1.3.2. Donner les caractéristiques du noyau fils ; expliquer la formation des photons $\tilde{\gamma}$

Cette capture électronique est accompagnée également de l'émission de rayons X, principalement de 27 keV.

1.3.3. Expliquer la formation de ceux-ci.

1.3.4. Expliquer pourquoi on parle "d'émetteur γ pur".

2. Production de radioéléments à l'aide d'un cyclotron

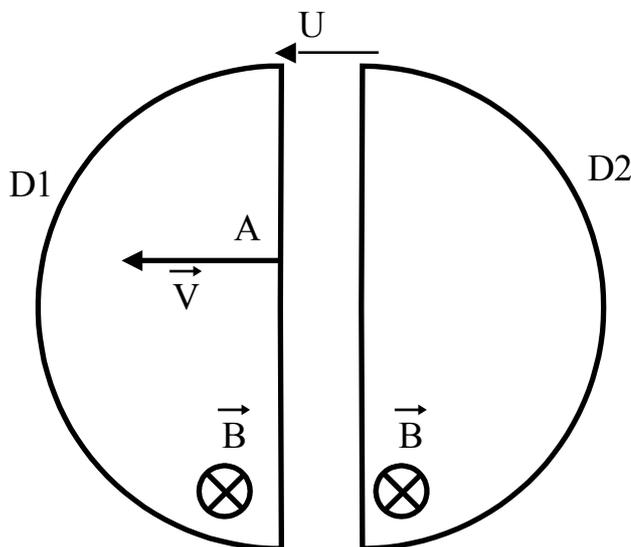
2.1. *Les accélérateurs de type cyclotron permettent d'obtenir des particules chargées lourdes (protons, deutons...) de haute énergie susceptibles de provoquer des réactions nucléaires.*

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} .



- 2.1.1. Représenter la force magnétique qui s'exerce sur un deuton en A.
- 2.1.2. Donner la nature du mouvement des deutons dans D_1 . Décrire et représenter la trajectoire correspondante en indiquant le sens du mouvement.
- 2.1.3. 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.
- 2.1.4. Donner le sens du champ électrique entre les dees pour que les deutons soient accélérés à leur sortie de D_1 . Le représenter.
- 2.1.5. Donner le signe de la tension $U = U_{D1} - U_{D2}$ entre les dees.
- 2.1.6. **Les deutons pénètrent dans D_2 en un point C.** Décrire leur mouvement. Quel est le temps de parcours dans D_2 ?
- 2.1.7. **Les deutons sortent de D_2 en C'.** Donner le sens du champ électrique et le signe de la tension U entre les dees pour qu'ils soient à nouveau accélérés.
- 2.1.8. Calculer la fréquence de la tension alternative qu'il faut appliquer entre les dees.
- 2.1.9. **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.

2.2. **L'iode 123 est produit par réaction nucléaire entre des deutons de haute énergie et du tellure 122.** Donner l'équation de cette transmutation ; donner les caractéristiques de l'autre particule également émise au cours cette réaction.

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 .

La demi vie de l'iode 131 vaut $T = 8$ jours.

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.

Calculer 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 2,0 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.

3.2.1. Calculer sa constante radioactive λ (en s^{-1}).

3.2.2. **Pour une scintigraphie thyroïdienne, il faut injecter à un patient adulte une quantité d'iode 123 d'activité égale à 7,4 MBq.** Calculer le nombre d'atomes d'iode injectés.

3.2.3. **Le délai entre l'administration du traceur et la réalisation des images est de 2 à 4 heures.** Calculer la perte relative d'activité en 4 heures.