# IMRT2 : DEVOIR 2 : 0708

| | | | |
|---|---|---|---|
| **DONNÉES :** | masse du proton<br>$m_P = 1{,}673 \times 10^{-27}$ kg | masse du deuton<br>$m_d = 3{,}345 \times 10^{-27}$kg | masse de la particule $\alpha$<br>$m_\alpha = 6{,}650 \times 10^{-27}$kg |
| masse de l'électron<br>$m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg | charge élémentaire<br>$e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C | célérité de la lumière<br>$c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s$^{-1}$ | constante de Planck<br>$h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s |

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 |

# PREMIÈRE PARTIE (30 points).

**I. Questionnaire à choix multiples : compléter le tableau par V pour vrai et F pour faux.**

1. Un champ électrique peut être produit par :
   - A. une masse
   - B. un aimant
   - C. deux plaques parallèles chargées
   - D. une charge électrique
   - E. une masse en mouvement

2. Un flux de protons, de vitesses initiales négligeables, est accéléré par une différence de potentiel de 100 kV.
   - A. l'énergie cinétique des protons vaut 100 kJ.
   - B. l'énergie cinétique des protons vaut $1{,}6 \times 10^{-17}$ J
   - C. les protons sont relativistes.
   - D. la vitesse des protons vaut $4{,}4 \times 10^{7}$ m.s$^{-1}$
   - E. l'énergie totale d'un proton vaut 938 MeV.

3. Des particules $\alpha$, d'énergie cinétique $E_C = 100$ MeV pénètrent dans une région ou règne un champ magnétique de valeur $B = 1$ T ; la direction du champ magnétique est perpendiculaire à la vitees des particules $\alpha$.

   - A. La trajectoire des particules est une parabole.
   - B. Le mouvement des particules est accéléré.
   - C. La trajectoire est un cercle de rayon R = 144 cm
   - D. l'énergie cinétique de la particule reste constante au cours du mouvement.
   - E. Le rayon de la trajectoire est proportionnel à l'énergie cinétique initiale de la particule

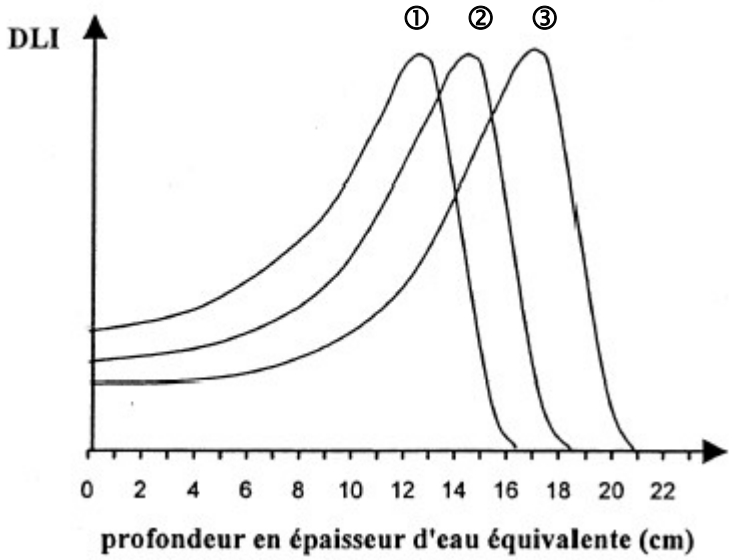
4. Soit un condensateur plan dont les plaques P et P' sont de longueur 0,10 m et distantes de 4,0 cm. La différence de potentiel entre les plaques vaut $U_{PP'} = 2{,}0$ kV. La valeur du champ électrique régnant entre ces plaques vaut :
   - A. 500 V.cm$^{-1}$
   - B. 50 kV.m$^{-1}$
   - C. 0,02 V.m$^{-1}$
   - D. 50 V.m$^{-1}$
   - E. 200 V.m$^{-1}$

5. Au cours de leur pénétration dans la matière d'un faisceau d'électrons

A. L'énergie cinétique des électrons reste constante
B. La trajectoire des électrons est une droite.
C. Certains électrons s'annihilent en photons de 0,511 MeV
D. Certains atomes de la matière sont ionisés
E. Le transfert linéique d'énergie augmente en fin de parcours.

6. Le schéma ci-dessous représente la densité linéique d'ionisation pour des protons d'énergies différentes, au cours de leur pénétration dans l'eau.

A. La profondeur de pénétration augmente avec l'énergie initiale des protons
B. Le proton 3 est plus énergétique que le proton 1
C. La DLI augmente avec l'énergie du proton
D. En fin de parcours, l'énergie du proton augmente.
E. Le nombre d'ionisation crées par le proton 1 est supérieur au nombre d'ionisations créées par le proton 3.




| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **A** | | | | | | |
| **B** | | | | | | |
| **C** | | | | | | |
| **D** | | | | | | |
| **E** | | | | | | |

**II. Trajectoires d'une particule dans un champ électrique.**

Un faisceau d'électrons aborde une région de l'espace dans laquelle règne un champ électrostatique supposé uniforme, crée par deux plaques parallèles reliées aux bornes d'un générateur.

1. Dans les quatre cas suivants, préciser (on peut dessiner sur le schéma) la direction et le sens du champ électrique régnant entre les plaques.

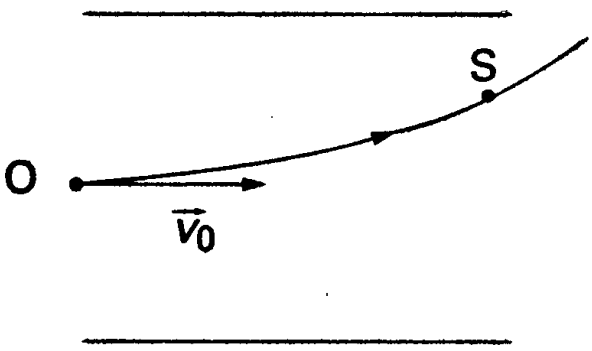



**Figure 1 *a***

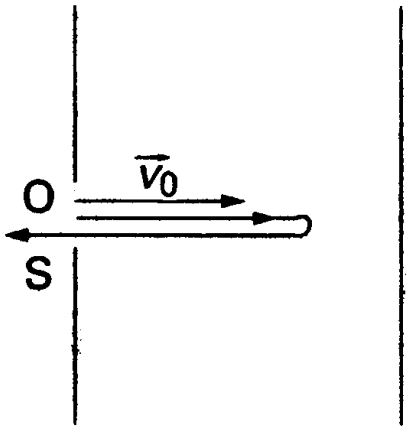



**Figure 1 *b***

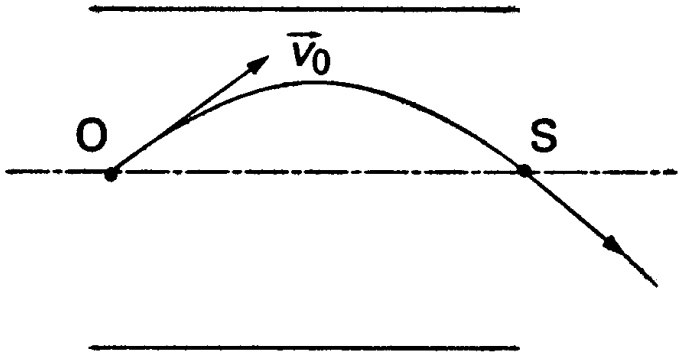



**Figure 1 *c***

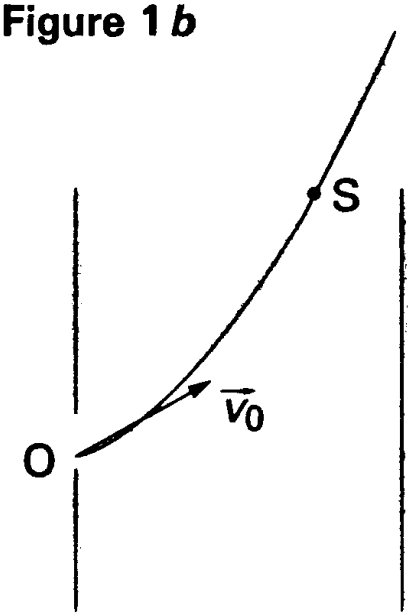



**Figure 1 *d***

2. Dans quel(s) cas peut-on affirmer que l'énergie de la particule est la même en S et en O ? Justifier la réponse.

3. Dans le cas de la figure 1a, les électrons sont reçus en I sur un écran perpendiculaire à la direction OO'. La distance entre le point O' et le milieu des plaques vaut L = 50 cm (voir figure 2).
On donne :

| | |
|---|---|
| La valeur du champ électrique : | $E = 100\ V.m^{-1}$ |
| La longueur des plaques : | $l = 5{,}0$ cm |
| La vitesse initiale des électrons en O : | $v_0 = 2{,}0 \times 10^6 m.s^{-1}$ |

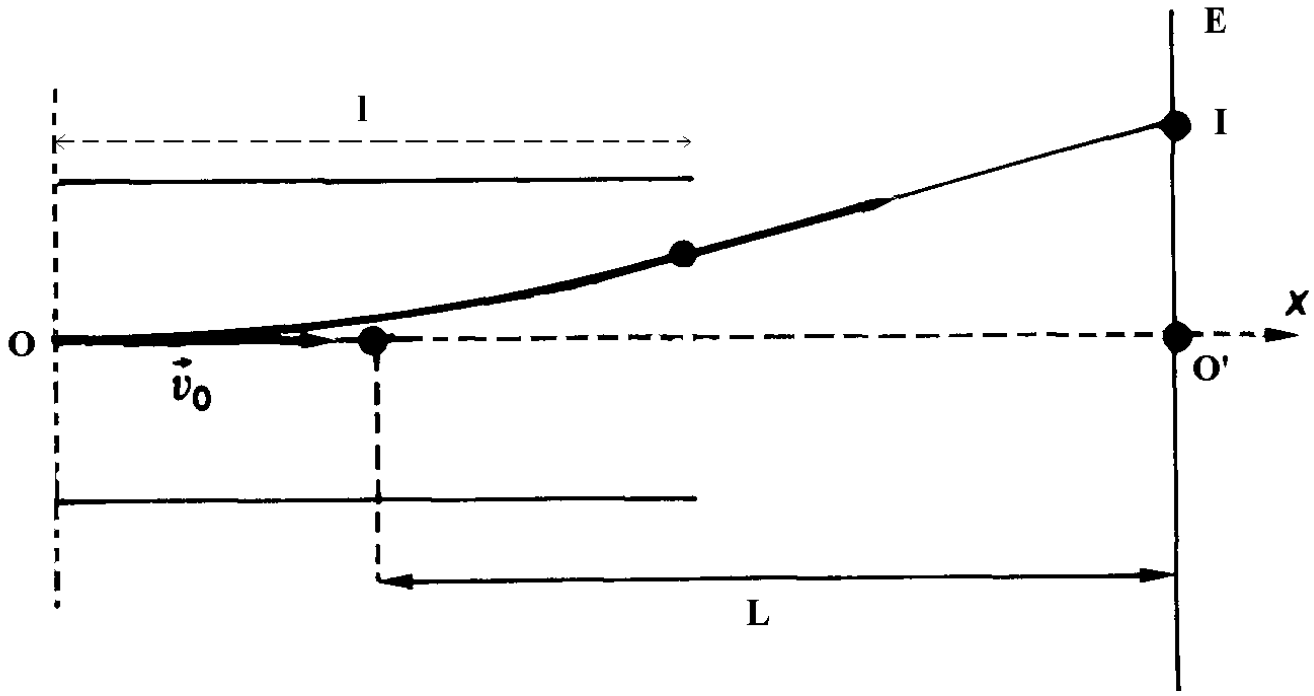



Figure 2

3.1. Parmi les propositions suivantes, supposant donner l'expression de la déviation Y = O'I, une seule est exacte ; citer laquelle en justifiant la réponse par une analyse dimensionnelle des formules proposées.

$Y = \frac{eELl}{v_0^2}$ $Y = \frac{eEl}{m v_0^2}$ $Y = \frac{eELl}{m v_0^2}$ $Y = \frac{eEl}{m v_0}$ $Y = \frac{meELl}{v_0^2}$

3.2. Calculer la déviation O'I**.**

# SECONDE PARTIE : PROBLÈME (30 points).

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

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 ($\beta^-$, γ).
L'iode 131 appartient à cette catégorie.
a) Écrire l'équation de sa désintégration $\beta^-$.
b) Expliquer l'origine du rayonnement γ qui accompagne la désintégration $\beta^-$.

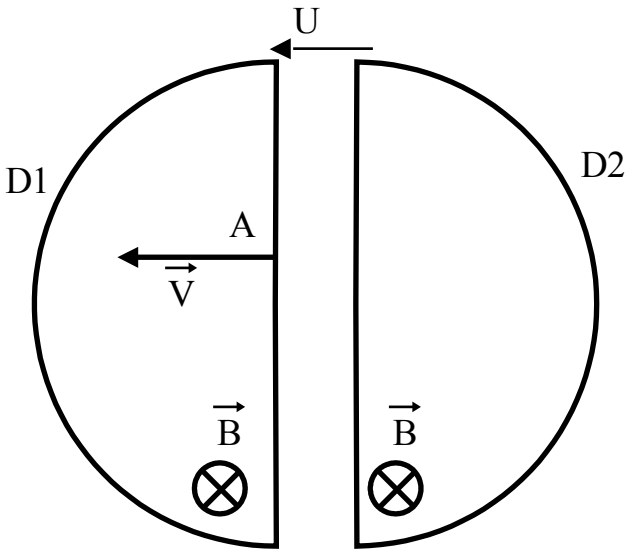
1.2. Les émetteurs $\beta^+$
L'oxygène 15 appartient à cette catégorie.
a) Écrire l'équation de la désintégration $\beta^+$.
b) Que devient le positon émis au cours d'une désintégration $\beta^+$ ? En déduire l'origine des photons γ.

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.
a) Écrire l'équation de sa désintégration.
b) Donner les caractéristiques du noyau fils ; expliquer la formation des photons γ.
Cette capture électronique est accompagnée également de l'émission de rayons X, principalement de 27 keV.
c) Expliquer la formation de ceux-ci.
d) 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 T.
Entre les dees, il existe un champ électrique $\vec{E}$ produit par la différence de potentiel électrique U.

Des deutons $^2_1H$ 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) Donner la nature du mouvement des deutons dans $D_1$. Décrire et 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) Donner le sens du champ électrique entre les dees pour que les deutons soient accélérés à leur sortie de $D_1$. Le représenter.
e) Donner le signe de la tension $U = U_{D1}-U_{D2}$ 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) 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.
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.

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 $\beta^-$.
L'énergie d'une particule $\beta^-$ 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. Calculer le nombre d'atomes d'iode injectés.
c) 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.