

Données :

	$1 \text{ u} = 1,661 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV}.c^{-2}$
constante de Planck $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$	masse du neutron $m_n = 1,00866 \text{ u}$
célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$	masse du proton : $m_p = 1,00728 \text{ u}$
charge élémentaire : $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$	masse de l'électron : $m_e = 0,0005486 \text{ u}$

Q1 : QCM. Compléter le tableau donné ci-après par V pour vrai et F pour faux

A. Une particule chargée aborde une zone dans laquelle règne un champ électrique perpendiculaire à son déplacement.

1. Sa trajectoire est circulaire
2. Sa trajectoire est une droite
3. Sa trajectoire est indépendante de sa masse
4. Sa trajectoire est un arc de parabole
5. Sa trajectoire dépend de sa vitesse initiale.

B. Une particule chargée aborde une zone dans laquelle règne un champ électrique perpendiculaire à son déplacement (créé par deux plaques parallèles soumise à une tension U) ; **à la sortie du champ** :

1. Son énergie cinétique a diminué
2. L'angle de déviation est proportionnel au carré de sa vitesse initiale
3. Sa vitesse reste égale à sa vitesse initiale
4. Sa trajectoire est une droite
5. L'angle de déviation est proportionnel à sa charge

C. Une particule chargée, de vitesse initiale $\vec{v}_0$ pénètre une zone dans laquelle règne un champ magnétique.

1. Sa trajectoire est un arc de parabole.
2. Sa trajectoire est toujours circulaire.
3. Sa trajectoire est une droite si sa vitesse initiale $\vec{v}_0$ est parallèle au champ magnétique
4. Son énergie cinétique reste inchangée.
5. Sa trajectoire peut être une spirale.

D. La force de Lorentz

1. Résulte de l'action d'un champ électrique sur une particule chargée
2. Peut s'exercer sur un neutron si la vitesse de celui-ci est proche de celle de la lumière
3. Est toujours perpendiculaire à la vitesse de la particule
4. Ne s'exerce que sur une particule chargée en mouvement
5. A un travail nul

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

1. L'énergie cinétique des électrons reste constante
2. La trajectoire des électrons est une droite.
3. Certains électrons s'annihilent en photons de 0,511 MeV
4. Certains atomes de la matière sont ionisés
5. Le transfert linéique d'énergie augmente en fin de parcours.

F. Au cours de la pénétration dans la matière d'un faisceau de photons X.

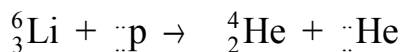
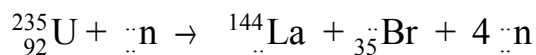
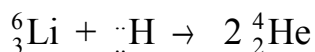
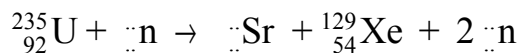
1. L'énergie cinétique des photons diminue
2. Certains photons disparaissent.
3. Des photons d'énergie plus faible peuvent se former.
4. Des électrons peuvent se former.
5. Il peut y avoir ionisation de certains atomes.

	A	B	C	D	E	F
1						
2						
3						
4						
5						

Q 2 : Réactions nucléaires

1. On donne les équations des réaction nucléaires suivantes ; elles sont incomplètes.

Recopier et compléter ces équations



2. Énergie de liaison par nucléon.

On donne les masses **atomiques** des deux noyaux suivants

Césium 147 (Z = 55) 146,944154 u

Fer 56 (Z = 26) 55,9349378 u

2.1. Calculer leurs énergies de liaison.

2.2. En déduire leurs énergies de liaison par nucléon

2.3. Un de ces deux noyau est radioactif ; lequel ? Justifier la réponse.

2.4. Donner l'allure de la courbe donnant l'énergie de liaison par nucléon en fonction du nombre de masse A (courbe d'Aston) ; placer ces 2 nucléides sur cette courbe.

3. Donner les caractéristiques (qui semblent les plus essentielles) de la radioactivité alpha et des deux radioactivités bêta.

Deuxième partie : problème.

Les accélérateurs de type "cyclotron" permettent d'accélérer les particules lourdes de haute énergie (protons, deutons) et trouvent une application médicale en radiothérapie protonique et neutronique. Une comparaison avec la radiothérapie conventionnelle sera amorcée.

Les trois parties sont indépendantes.

I. Principe de base du cyclotron

Un cyclotron est composé de deux demi cylindres creux D1, D2 appelées « Dees », à l'intérieur desquels règne un champ magnétique $\vec{B}$ de valeur $B = 1,8 \text{ T}$. Entre les Dees, existe un champ électrique $\vec{E}$ commandé par une tension $u_{D1D2}(t)$

En A sont injectés des protons ${}^1_1\text{H}^+$ de vitesse initiale négligeable. Sous l'action des deux champs $\vec{B}$ et $\vec{E}$ le mouvement de l'ion dans le cyclotron a une trajectoire représentée sur la figure 1 du document réponse.

1. Action du champ magnétique $\vec{B}$

1.1. Sur le document réponse, représenter au point A₂

le vecteur vitesse de l'ion ${}^1_1\text{H}^+$.

la force magnétique $\vec{F}_m$.

en déduire le sens du champ magnétique.

1.2. Démontrer que l'action du champ magnétique ne modifie pas la valeur de la vitesse v .

1.3. On admettra que le mouvement du proton est circulaire de rayon :

$$r = \frac{m v}{q B}$$

Établir l'expression et calculer la durée θ de passage de l'ion dans un « Dee » ; conclure.

2. Action du champ électrique $\vec{E}$.

2.1. Représenter sur le schéma (figure 1), le vecteur champ électrique dans les espaces A₃A₄ et A₅A₆, tel que le proton soit accéléré.

2.2. On peut négliger la durée de passage de l'ion dans l'intervalle entre les deux Dees devant θ , exprimer et calculer la fréquence de la tension alternative $u_{D1D2}(t)$ utilisée pour créer le champ $\vec{E}$.

2.3. Calculer l'augmentation d'énergie à chaque accélération entre les deux Dees sachant que pendant le passage de l'ion, la tension peut être considérée comme constante et égale à 42 kV.

2.4. Quelle est l'augmentation de l'énergie cinétique du proton à chaque tour ?

2.5. A l'aide des réponses aux questions précédentes, compléter les courbes proposées figure 2 (en concordance de temps) correspondant à l'énergie cinétique totale acquise au cours du temps d'une part, et à la tension $u_{D1D2}(t)$ d'autre part.

3. Énergie de sortie

3.1. Certains cyclotrons possèdent 4 Dees permettant d'accélérer 4 fois par tour les particules introduites. Quelle est alors l'énergie acquise par les protons en un tour, pour la même tension d'accélération ?

3.2. Le nombre de tours effectués par les protons est égale à 200 ; calculer l'énergie de sortie des particules.

II. Radiothérapie conventionnelle. Rayons X

On forme des rayons X en envoyant un faisceau d'électrons de grande énergie, $E_0 = 8 \text{ MeV}$, issu d'un accélérateur, sur une cible constituée d'une fine plaque de platine.

1. Calculer la longueur d'onde minimale λ_0 des photons X de freinage émis par la cible.
2. Calculer la longueur λ_m , des photons les plus nombreux, sachant que $\lambda_m = 3 / 2 \lambda_0$. Calculer l'énergie correspondante E_m .
3. Positionner E_0 et E_m , sur l'axe des abscisses du graphe de variation de fluence énergétique $d\phi / dE$ reproduit figure 3 du document réponse.
4. Expliquer qualitativement le rôle et les qualités du filtre nécessaire permettant de ne laisser passer que les rayons de longueurs d'onde proche de λ_m .

5. On admet maintenant que le rayonnement est homogène et constitué de photons de longueur d'onde λ_m .

Afin de traiter une tumeur profonde, il faut réduire de 65% le nombre de photons incidents. On utilise des écrans de plomb.

Pour cette énergie, le coefficient massique d'absorption du plomb vaut $4,6 \times 10^{-2} \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$; la masse volumique du plomb vaut $\rho = 11,3 \text{ g.cm}^{-3}$.

Calculer l'épaisseur de plomb nécessaire à cette absorption.

6. Les milieux biologiques sont constitués essentiellement d'eau. Celle-ci sert de modèle pour évaluer le trajet des rayons X.

Les photons ont un coefficient massique d'atténuation globale égal à $0,11 \text{ cm}^2.\text{g}^{-1}$ dans l'eau. La masse volumique de l'eau vaut $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$.

6.1. Calculer la valeur de la couche de demi-atténuation CDA pour ce rayonnement.

6.2. A partir d'une valeur de l'énergie arbitrairement choisie, construire la courbe d'atténuation de l'énergie en fonction de 5 valeurs de CDA traversées.

6.3. Expliquer comment l'interprétation de cette courbe confirme (ou infirme) la phrase trouvée dans certains livres : *"les rayons X utilisés en radiothérapie conventionnelle s'amenuisent au fur et à mesure qu'ils pénètrent dans le corps entraînant des dommages non négligeables aux cellules situées en aval et en amont de la tumeur"*

III. Utilisation du faisceau de protons issus du cyclotron

A la sortie du cyclotron les particules sont émises avec un spectre énergétique extrêmement fin.

1. On rappelle que le TLE est le Transfert Linéique d'Énergie. Calculer sa valeur en MeV.cm^{-1} pour des particules de 50 MeV sachant que le parcours de ces particules est de 3 cm dans les tissus biologiques.

2. Dans l'eau, l'énergie nécessaire pour créer une paire (ion positif-électron) est de 33 eV. Déterminer la densité linéique (DLI) ou nombre de paires d'ions formés par unité de longueur (ion / mm) dans l'eau.

3. La courbe de Bragg (figure 4 du document réponse) donne la DLI en fonction du parcours dans l'eau pour deux particules.

3.1. A partir de quelle profondeur les deux types de particules cèdent-elles principalement leur énergie ?

3.2. Sur quelle étendue cette énergie est-elle cédée ?

3.3. Quel avantage y a-t-il à utiliser des protons plutôt que des rayons X de même énergie ?

4. La position du pic de Bragg varie suivant l'énergie du faisceau de protons incidents. Un dispositif absorbeur d'énergie à plaques de Lexan d'épaisseurs variables permet de déplacer le pic de Bragg de la surface de la peau jusqu'à une profondeur de 250 mm. Le graphe reproduit figure 5 du document réponse présente trois réglages possibles.

Pour ces réglages, déterminer :

4.1. À quelle profondeur minimale la tumeur doit se trouver.

4.2. L'épaisseur maximale de tumeur susceptible d'être irradiée.

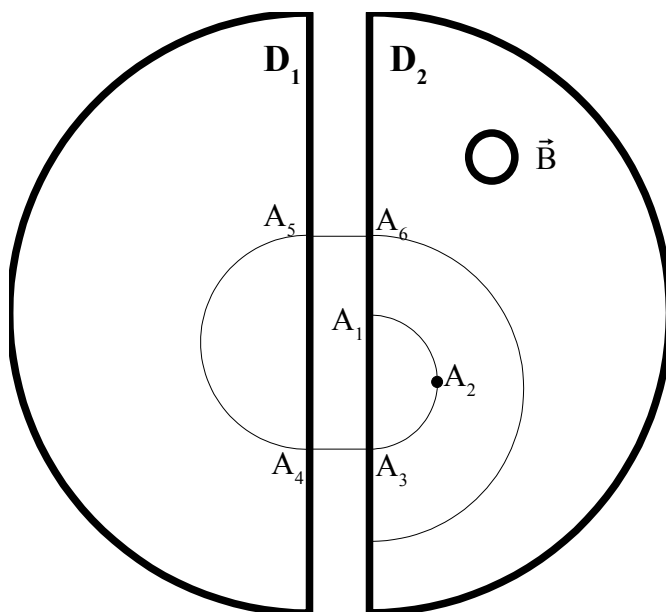


figure 1

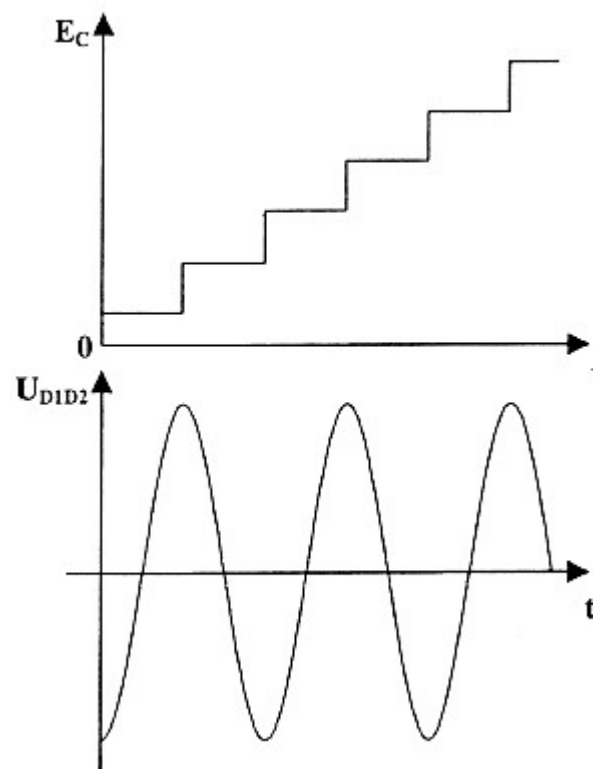


figure 2

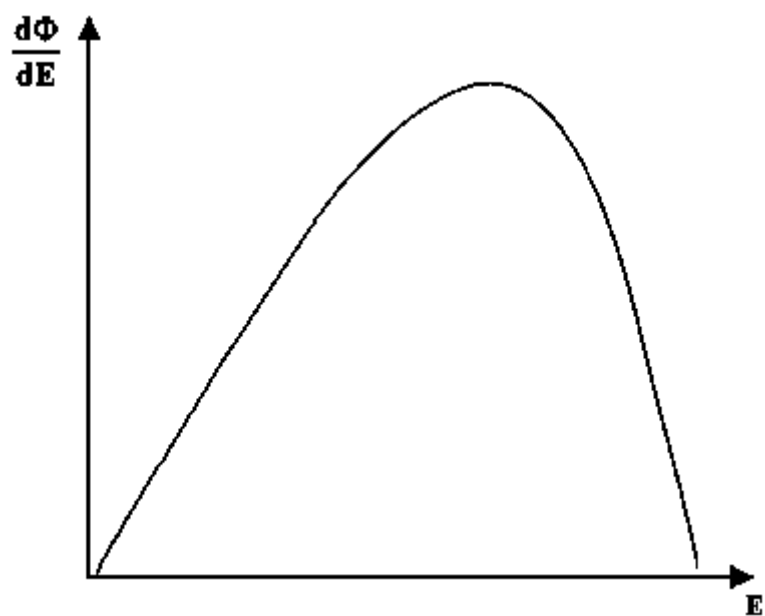


figure 3

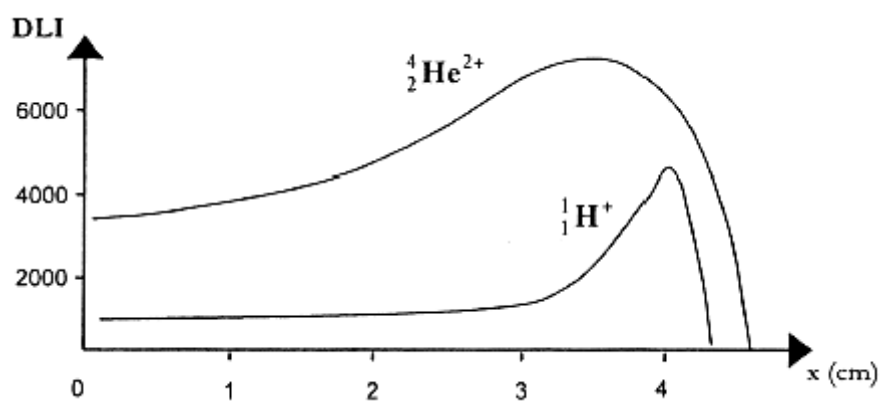


figure 4

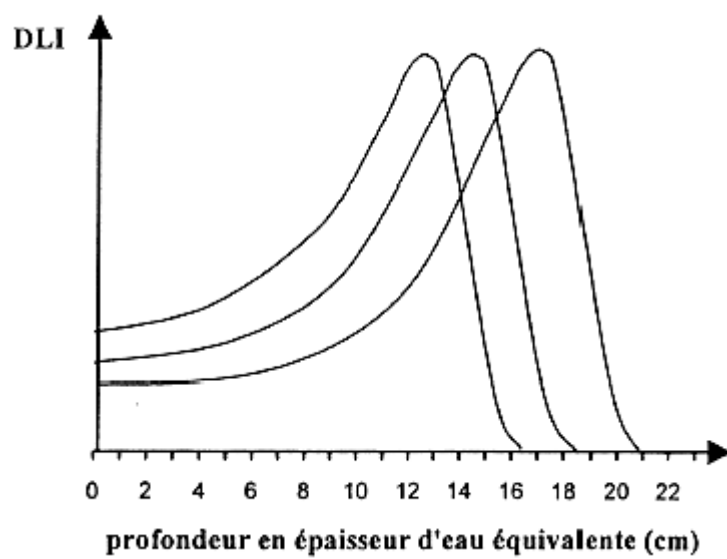


figure 5