

DIPLÔME DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
EN IMAGERIE MÉDICALE ET RADIOLOGIE
THÉRAPEUTIQUE

Durée de l'épreuve : 3 heures

Coefficient : 3

PHYSIQUE

Le sujet comporte 9 pages numérotées de 1/9 à 9/9

L'usage de la calculatrice est autorisé.

PHYSIQUE

PREMIÈRE PARTIE : CONTRÔLE DE CONNAISSANCES (30 points)

Q1. QUESTIONS A CHOIX MULTIPLES (16 points)

Chacune des propositions de 1 à 9 contient une seule affirmation vraie (a, ou b, ou c, ou d). Choisir la bonne affirmation en la justifiant si demandé.

1. Les états d'énergie d'un électron sont définis par quatre nombres quantiques. On peut affirmer que :

- a. le nombre quantique magnétique m varie par valeurs entières de $-n$ à $+n$;
- b. le nombre quantique secondaire l varie par valeurs entières de 0 à $n-1$;
- c. deux électrons appariés ont leurs quatre nombres quantiques identiques ;
- d. le nombre quantique de spin s est égal à 1 .

2. À partir de l'écriture suivante ${}^{131}_{53}\text{I}^-$, on peut déduire que :

- a. le nombre de nucléons est 131 ;
- b. la masse d'un atome de cet isotope de l'iode est environ 53 u ;
- c. il y a 53 électrons dans cet ion ;
- d. il y a 131 neutrons dans ce noyau.

Pour toutes les questions suivantes, justifier la réponse.

3. L'énergie E_n des niveaux de l'atome d'hydrogène est donnée par la relation $E_n = \frac{E_0}{n^2}$ où E_0 vaut

$13,6 \text{ eV}$ et n , le nombre quantique principal. La valeur en eV du troisième niveau à partir du niveau fondamental est, en eV :

- a. $0,0$;
- b. $-1,5$;
- c. $-3,4$;
- d. $-0,5$.

HIMSC

4. Données : Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène :

$$E_1 = -13,6 \text{ eV};$$

$$E_2 = -3,4 \text{ eV};$$

$$E_3 = -1,5 \text{ eV};$$

$$E_4 = -0,85 \text{ eV}.$$

L'excitation d'un atome d'hydrogène depuis son état fondamental peut s'accompagner :

- a. de l'émission de photons de 10,2 eV ;
- b. d'absorption de photons de 12,1 eV ;
- c. d'absorption de photons de 1,9 eV.

5. Soit une particule α (${}^4_2\text{He}^{2+}$) dans laquelle l'énergie moyenne de liaison par nucléon est 7,07 MeV/nucléon.

La masse d'un proton est égale à 1,007 82 u, celle d'un neutron est de 1,008 66 u ($1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$).

La masse de la particule α est :

- a. 4,002 58 u ;
- b. 4,063 56 u ;
- c. 4,032 98 u ;
- d. 4,025 39 u.

6. Lors d'une réaction nucléaire spontanée, l'émission β^- :

- a. s'accompagne de l'émission d'un neutrino ;
- b. provient des électrons des couches profondes (K essentiellement) ;
- c. provient de la transformation d'un neutron du noyau en un proton ;
- d. provient de la transformation d'un proton du noyau en un neutron.

7. La demi-vie ou période radioactive de l'iode ${}^{131}\text{I}$ est de 8,04 jours.

- a. sa constante radioactive est de $0,124 \text{ jour}^{-1}$;
- b. sa constante radioactive est de $6,0 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$;
- c. la totalité de l'iode 131 aura disparu au bout de 16,08 jours ;
- d. au bout de 24,1 jours, il ne reste que le huitième des noyaux d'iode 131 ;

8.

- a. l'activité d'une source radioactive est proportionnelle à sa période ;
- b. la période d'un radioélément est proportionnelle à sa constante radioactive ;
- c. l'activité d'une source radioactive est inversement proportionnelle au nombre d'atomes non désintégrés ;
- d. la période d'un radioélément est inversement proportionnelle à sa constante radioactive.

9. Des électrons d'énergie cinétique 1,0 MeV pénètrent dans la matière vivante, effectuant un parcours de 0,50 cm :

- a. leur parcours dans l'air est le même ;
- b. sachant qu'il faut environ 32 eV pour ioniser une molécule d'eau, ces électrons ont une densité d'ionisation linéique (D.I.L.) de $6,3 \cdot 10^4$ ionisations.cm⁻¹.
- c. ils sont moins pénétrants que des particules α de même énergie ;
- d. leur couche de demi-atténuation (C.D.A.) est de 0,5 cm dans la matière vivante.

Q2. ACCÉLÉRATEUR LINÉAIRE D'ÉLECTRONS (14 points)

Un accélérateur d'électrons est utilisé pour produire des électrons ou des rayons X très énergétiques. Il comporte trois parties fondamentales :

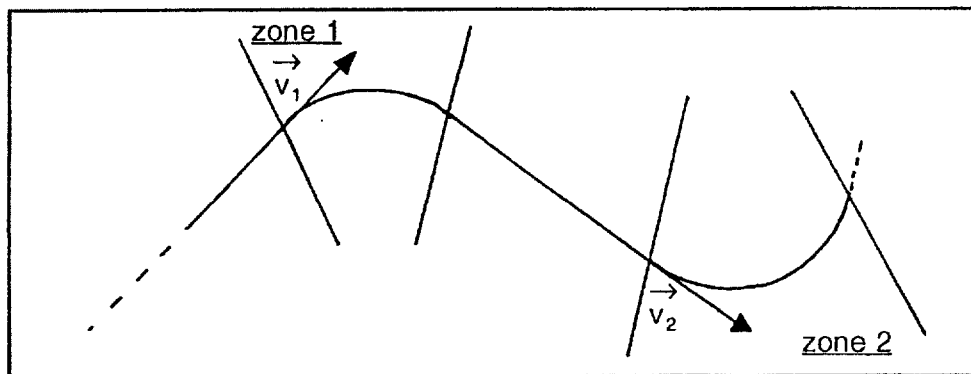
- le canon à électrons,
- l'accélérateur,
- les systèmes de déviation qui permettent d'orienter et de focaliser les électrons.

1. Identifier, sans justifier, les trois parties repérées par les nombres ①, ② et ③ sur l'annexe 1.
2. L'accélération est provoquée par un champ électrique \vec{E} .
 - a. Quel est le phénomène responsable de cette accélération ?
 - b. En faisant l'hypothèse que le champ \vec{E} est constant, exprimer la variation d'énergie entre l'entrée et la sortie de l'accélérateur.
3. La courbure du faisceau est produite par un champ magnétique \vec{B} .
On rappelle que le rayon R de la trajectoire circulaire d'une particule de charge q , de masse m , de vitesse \vec{v} dans un champ magnétique uniforme \vec{B} orthogonal à \vec{v} , est donné par la relation :

$$R = \frac{mv}{|q|B}$$

- a. Quelle force s'exerce alors sur un électron du faisceau ? En préciser les caractéristiques.
- b. La trajectoire d'un électron est représentée sur le schéma 1 ci-dessous :

schéma 1



Les zones 1 et 2 sont le siège de champs magnétiques \vec{B}_1 et \vec{B}_2 perpendiculaires au plan de la figure.

Représenter, en justifiant la réponse, les vecteurs \vec{B}_1 et \vec{B}_2 sur le schéma 1 à reproduire sur la copie.

- c. Les électrons ne sont soumis à aucun autre champ en dehors des zones 1 et 2. Comparer les valeurs des vitesses \vec{v}_1 et \vec{v}_2 .
- d. Sachant que la valeur de \vec{B}_2 est le double de celle de \vec{B}_1 , comparer les rayons de courbure de la trajectoire dans les zones 1 et 2.
- e. Au-delà de la fonction d'orientation et de focalisation des électrons, ce dispositif permet de rendre le faisceau monocinétique. Justifier.

DEUXIEME PARTIE : PROBLEME (30 points)

EXERCICE 1 : (12 points)

On désire étudier le comportement d'un circuit RLC série.
On dispose d'un générateur basse fréquence (GBF),
d'un oscilloscope, d'un ampèremètre (A) et d'un
voltmètre (V).

Données : on réalise le montage schématisé figure 1.

$$R = 2000 \Omega$$

$$L = 1,00 \text{ H}$$

$$C = 1,00 \mu\text{F}$$

1. Le GBF doit produire une tension $u_g(t)$, exprimée en volts, telle que :

$$u_g(t) = 15 \cdot \cos(1000\pi t)$$

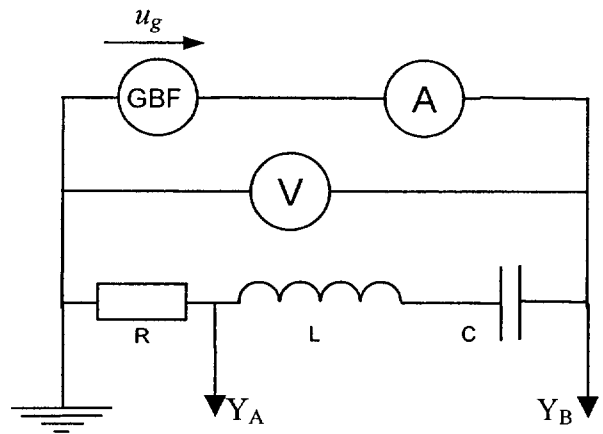


Figure 1

- 1.1. Quelle est la période de cette tension ?
- 1.2. Quelle est son amplitude ?
- 1.3. Quelle sera la valeur indiquée par le voltmètre ?
- 1.4. On rappelle que l'impédance d'un circuit RLC série s'exprime par la relation :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

- 1.4.a. Calculer l'impédance du circuit.
- 1.4.b. En déduire la valeur qui sera indiquée par l'ampèremètre.

2. On fait maintenant varier la fréquence du GBF

L'oscilloscope étant branché sur le circuit conformément aux indications fournies sur la figure 1, on obtient l'oscillogramme reproduit figure 2.

Données :

Voie A (Y_A) : sensibilité 5V/division

Voie B (Y_B) : sensibilité 5V/division

Base de temps : 5 ms/division

- 2.1. Quelle est la fréquence de la tension appliquée au circuit ?
- 2.2. Identifier la courbe correspondant à la voie A.

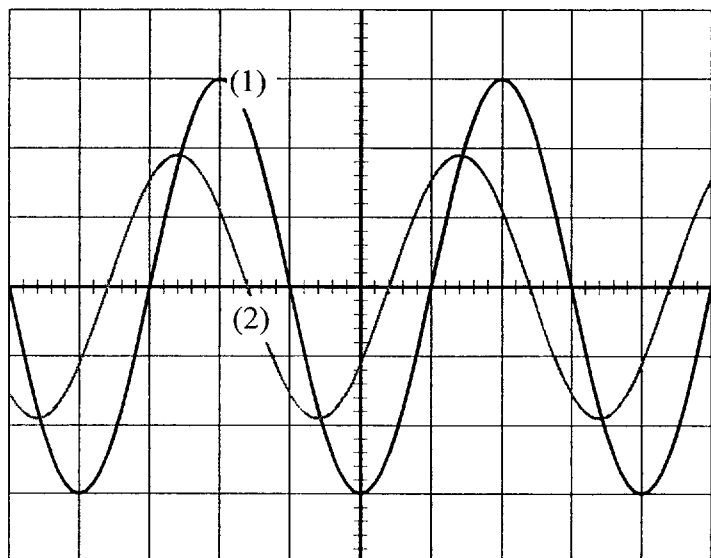


Figure 2

- 2.3. La tension aux bornes du dipôle R étant en phase avec l'intensité, déterminer le déphasage de la tension appliquée au dipôle RLC par rapport à l'intensité du courant.
3. On cherche maintenant à étudier le phénomène de résonance du circuit.
On rappelle qu'à la résonance, l'impédance Z du circuit est minimum.
- 3.1. Retrouver, à partir de l'expression de Z , la relation qui permet de calculer la fréquence de résonance f_0 en fonction des caractéristiques du circuit.
- 3.2. Quelle est la valeur de cette fréquence f_0 ?
- 3.3. Quel sera le déphasage mesuré à la question 2.3. à la fréquence de résonance ?

| |
|--|
| EXERCICE 2 : ATTÉNUATION D'UN FAISCEAU POLYÉNERGÉTIQUE DE PHOTONS (18 points) |
|--|

Un faisceau de N_0 photons est constitué pour moitié de N_{01} photons d'énergie E_1 , de 100 keV et l'autre moitié de N_{02} photons d'énergie E_2 , de 50 keV.

Ce faisceau traverse une plaque de cuivre dont les coefficients d'atténuation linéaire sont :

$$\mu_1 = 0,357 \text{ mm}^{-1} \text{ pour les photons d'énergie } E_1 \text{ et}$$

$$\mu_2 = 2,30 \text{ mm}^{-1} \text{ pour les photons d'énergie } E_2.$$

Après la traversée d'une épaisseur x de cuivre, il reste N_1 et N_2 photons d'énergies respectives E_1 et E_2 .
On appelle N le nombre total de photons.

1. Calculer les couches de demi-atténuation du cuivre (C.D.A.) pour les photons d'énergie E_1 et E_2 .

On rappelle l'expression :
$$\text{C.D.A.} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

2. Exprimer N_1 et N_2 en fonction de N_0 , x et des coefficients d'atténuation (μ_1 et μ_2).
3. Compléter le tableau de l'**annexe 2 page 8/8 (à rendre avec la copie)** après avoir donné un exemple de calcul pour chaque ligne.
4. Sur le papier semi-logarithmique joint en **annexe 2 page 8/8 (à rendre avec la copie)**, compléter en représentant N/N_0 (%) en fonction de x .
5. Déterminer graphiquement les couches de demi-atténuation successives pour **l'ensemble du faisceau jusqu'à la troisième**. On appelle :
- première C.D.A., l'épaisseur de matière qui diminue le pourcentage total de photons de 100 à 50 ;
 - deuxième C.D.A., l'épaisseur de matière qui diminue le pourcentage total de photons de 50 à 25 ;
 - etc...
- Que remarque-t-on ?
6. On considère un faisceau monocinétique d'énergie $E_1 = 100$ keV, calculer l'épaisseur de la plaque de cuivre qui arrête 30% du rayonnement.

7. Soit la figure 3 ci-dessous :

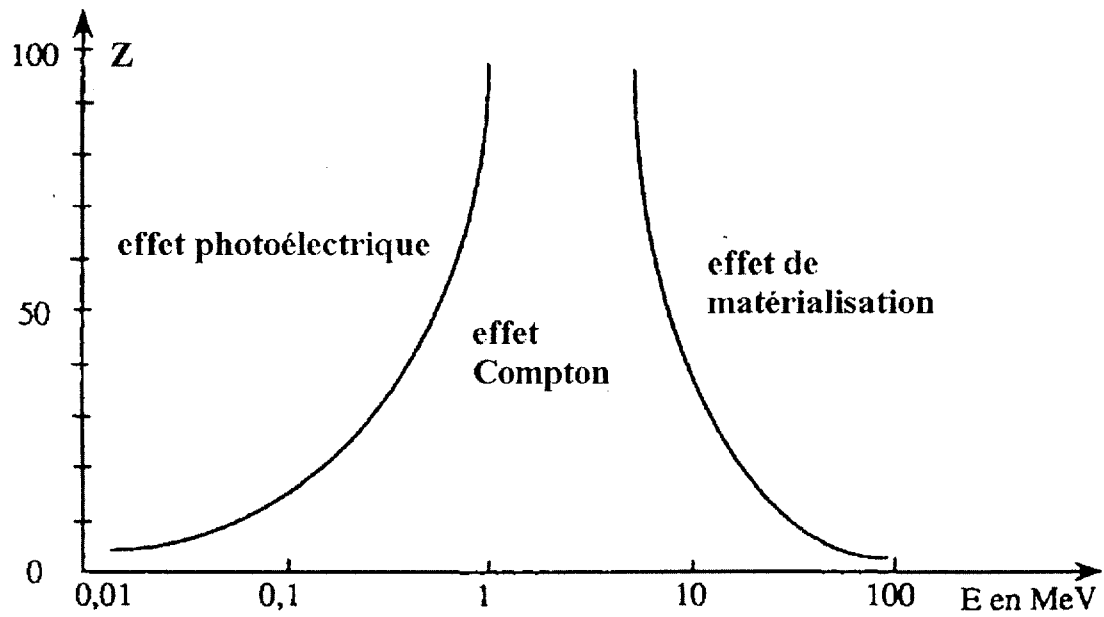
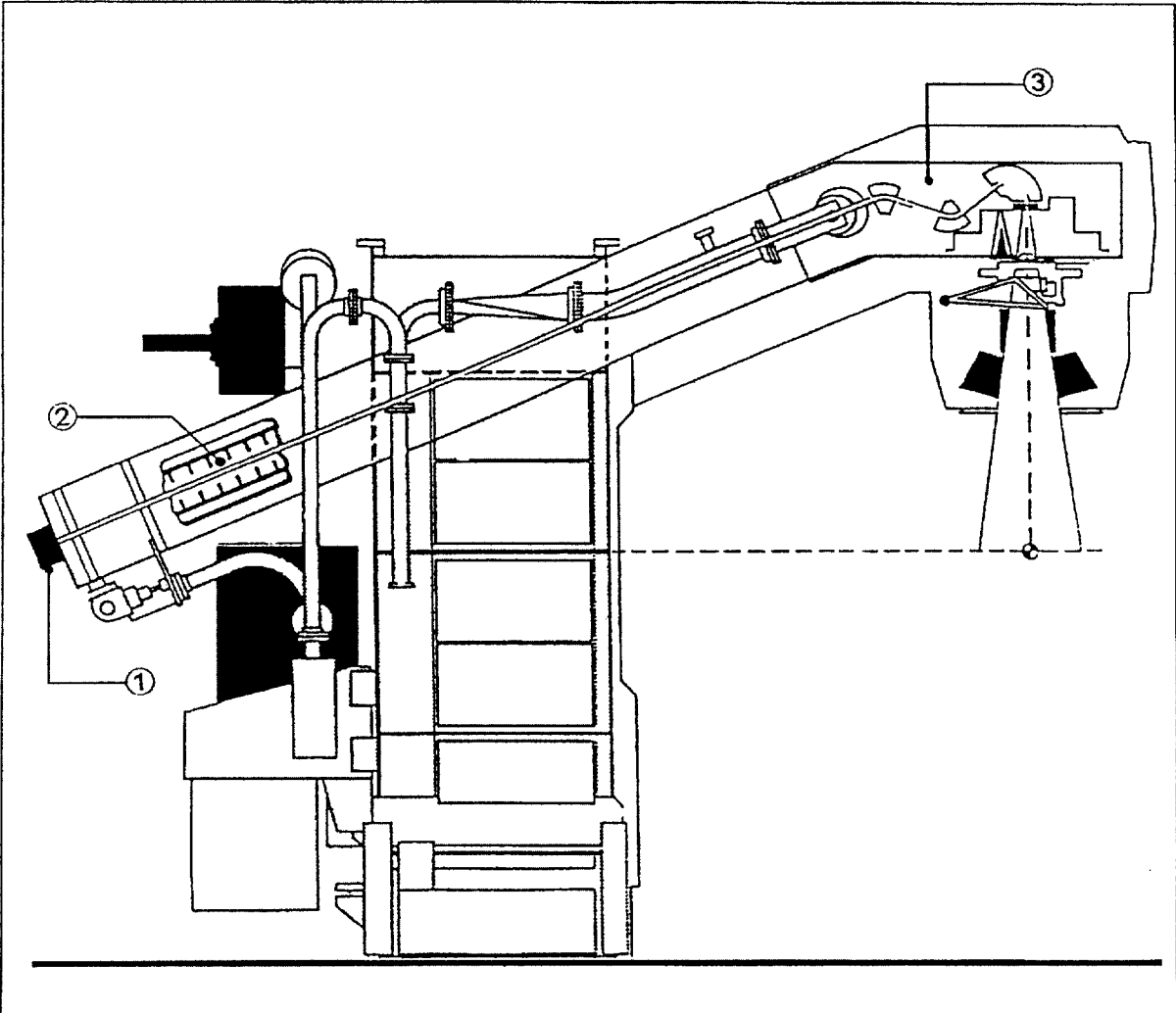


figure 3

7.1. Que représente-t-elle ? Définir brièvement les trois effets mentionnés.

7.2. En déduire l'effet prépondérant pour des photons de 100 keV sur la plaque de cuivre, le numéro atomique du cuivre est 29.



ANNEXE 2 (à rendre avec la copie)

| | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|-------|------|
| (X mm) | 0 | 0,40 | 1,00 | 2,00 | 3,00 | 4,00 |
| N_1/N_0 (%) | 50,0 | 4,33 | | 24,5 | | 12,0 |
| N_2/N_0 (%) | 50,0 | 20,0 | 5,00 | | 0,005 | |
| N/N_0 (%) | | | 40,0 | 25,0 | 17,2 | 12,0 |

TABLEAU A COMPLÉTER

