

PHYSQ 126 LEC B1
FLUIDES, CHAMPS ET RADIATION
Examen final
Hiver 2007

Nom _____ **SOLUTIONS** _____

Numéro d'identité _____

Professeur Marc de Montigny

Date Mercredi, 18 avril 2007
 9 h à midi

Lieu Gymnase, Pavillon McMahon

Instructions

- Ce cahier contient 16 pages. L'examen vaut 140 points.
- Matériel permis: crayons ou stylos, calculatrices (programmables, graphiques, etc.), aide-mémoire distribué pendant le cours.
- Fermez vos téléphones cellulaires. Les *Personal Digital Assistants* (PDA) et autres appareils électroniques sont interdits. Pas de casquettes.
- Cet examen est à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire que vous aurez complété à l'avance. Vous perdrez 10/40 si (1) vous avez inclus des problèmes résolus ou (2) ne retournez pas l'aide-mémoire avec l'examen.
- Il n'y a pas de points supplémentaires. Votre note sur 140 sera ramenée à 40% de la note finale du cours.
- L'examen comprend deux parties :
 - **16 questions à choix multiples.** Elles n'ont pas toutes la même valeur et cumulent un **total de 36 points**. Il n'y a pas de points partiels pour cette partie. Encerclez les meilleures réponses.
 - **10 problèmes.** Ils n'ont pas tous la même valeur et cumulent un **total de 104 points**. Vous pourrez obtenir des points partiels pour cette partie. Expliquez vos solutions clairement et avec précision.
- Vous pouvez utiliser le verso des pages pour vos calculs. Je ne les corrigerai pas, sauf si vous m'indiquez de le faire.

Choix multiples (Total : 36 points)

Encerclez la meilleure réponse.

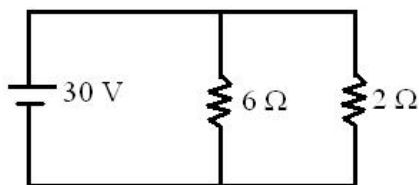
CM-1 (2 points) Exprimez les unités de champ électrique, V/m, en unités fondamentales, c.-à-d. m, kg, s et A.

- A. $\text{kg}\cdot\text{m}^2/(\text{A}\cdot\text{s}^3)$
- B. $\text{kg}\cdot\text{m}^2/(\text{A}\cdot\text{s})$
- C. $\text{kg}\cdot\text{m}/(\text{A}\cdot\text{s}^3)$**
- D. $\text{kg}^2\cdot\text{m}^2/(\text{A}^2\cdot\text{s})$

CM-2 (3 points) Un fil de tungstène de rayon 0.075 mm est chauffé de 20 °C à 1320 °C. Sa résistivité à 20 °C vaut $5.60\times 10^{-8} \Omega\cdot\text{m}$ et son coefficient thermique de résistivité est $4.50\times 10^{-3} (\text{°C})^{-1}$. Lorsqu'une tension de 120 V est appliquée aux extrémités de ce fil, un courant de 1.50 A est produit. Quelle est la longueur du fil?

- A. $5.76\times 10^{-4} \text{ m}$
- B. 3.69 m**
- C. $4.91\times 10^4 \text{ m}$
- D. $3.69\times 10^6 \text{ m}$

CM-3 (2 points) Lequel des tableaux ci-dessous correspond le mieux au schéma suivant?



	Courant dans 6 Ω	Voltage à 2 Ω
A.	5.00 A	30 V
B.	6.67 A	15 V
C.	13.3 A	30 V
D.	15.0 A	15 V

CM-4 (2 points) Une pile, une résistance et un condensateur sont branchés en série. Si, au moment où ce circuit a été branché, la charge sur les bornes du condensateur était nulle, que se passe-t-il par la suite?

- A. La charge aux bornes du condensateur décroît selon la relation $q_0 e^{-t/RC}$.
- B. La charge totale sur l'ensemble des deux bornes reste nulle.**
- C. Les protons se déplacent sur une borne, et les électrons, sur l'autre borne.
- D. Seuls les protons se déplacent sur une borne; la charge négative sur la seconde borne est attribuée à l'absence de protons.

CM-5 (2 points) Combien de temps est requis pour que la charge d'un condensateur de capacité C , relié en série à une résistance R dans un circuit RC, atteigne 99.9% de sa valeur maximale, si on suppose que sa charge initiale était nulle?

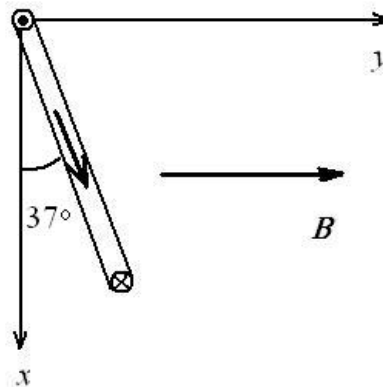
- A. $(0.001)RC$
- B. RC
- C. $(4.60)RC$
- D. $(6.91)RC$**

CM-6 (3 points) Quelle est la force agissant entre deux fils conducteurs verticaux parallèles, chacun de longueur 1 m, qui sont séparés de 10 cm et parcourus par un courant de 10 A dans le même sens?

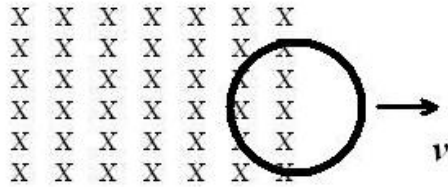
- A. 2×10^{-7} N, force répulsive
- B. 2×10^{-6} N, force attractive
- C. 2×10^{-4} N, force répulsive
- D. 2×10^{-4} N, force attractive**

CM-7 (2 points) Un cadre carré vu du haut a des côtés de longueur 20 cm. Il comporte cinq tours de fil, chacun étant parcouru par un courant de 2 A, dans le sens indiqué. Le cadre fait un angle de 37° avec l'axe x et le champ magnétique est de 0.5 T dans la direction y . Quel est le module du moment de force sur le cadre?

- A. 0.0241 N·m
- B. 0.120 N·m**
- C. 0.160 N·m
- D. 0.400 N·m

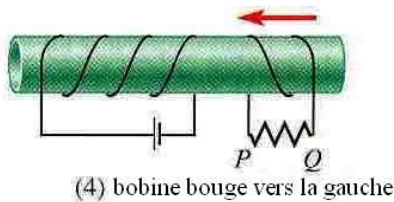
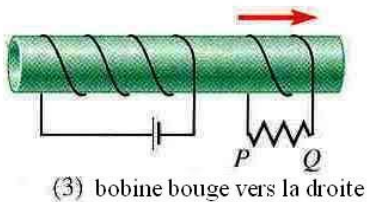
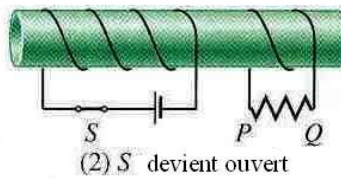
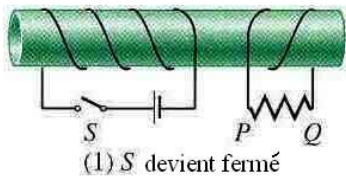


CM-8 (2 points) Une boucle est tirée à vitesse v hors d'une région où règne un champ magnétique uniforme entrant. Quel énoncé ci-dessous est le plus juste?



- A. Un courant horaire est induit dans la boucle.
- B. Un courant anti-horaire est induit dans la boucle.
- C. Le champ magnétique exerce une force vers la droite sur la boucle.
- D. Aucun courant n'est induit dans la boucle.

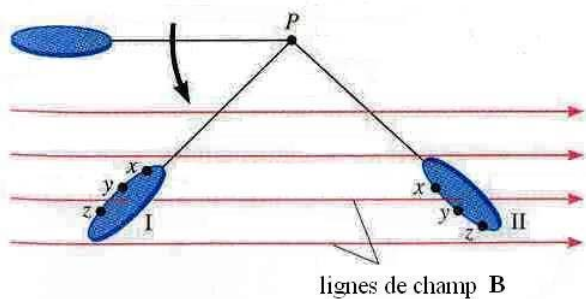
CM-9 (3 points) Pour chaque expérience (1, 2, 3, 4) illustrée ci-dessous, indiquez la direction du courant dans la résistance (c.-à-d. de P vers Q ou de Q vers P). Attention! Les fils n'enveloppent pas tous le tube de plastique dans la même direction.



- | | (1) | (2) | (3) | (4) |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|
| A. | P vers Q | P vers Q | P vers Q | P vers Q |
| B. | P vers Q | Q vers P | P vers Q | Q vers P |
| C. | Q vers P | Q vers P | P vers Q | P vers Q |
| D. | Q vers P | Q vers P | Q vers P | Q vers P |

CM-10 (2 points) Une boucle est suspendue à une corde attachée au point P ci-dessous. La boucle est lâchée de la gauche et passe, de la gauche vers la droite, à travers un champ magnétique. Le plan de la boucle demeure en tout temps perpendiculaire au plan de la page, de sorte que les points x, y, z se trouvent *derrière* la page. Lorsque la boucle se dirige de I vers II, dans quel sens le courant dans la boucle se déplace-t-il lorsque la boucle se trouve proche de II?

- A. $x \rightarrow y \rightarrow z$
- B. $z \rightarrow y \rightarrow x$**
- C. Il n'y a pas de courant induit.
- D. Information insuffisante pour répondre à la question.



CM-11 (2 points) Un générateur électrique contient une bobine carrée comportant 25 tours ayant des côtés de 50 cm de long. La bobine tourne à 120 tours par minute dans un champ magnétique de grandeur 0.04 Tesla. Quelle est la valeur maximale de la f.é.m. induite?

- A. 0.126 V
- B. 0.500 V
- C. 3.14 V**
- D. 6.28 V

CM-12 (2 points) Un transformateur contient une bobine primaire contenant 1200 tours et une bobine secondaire de 400 tours, et il est branché à une source de 120 V. Quelle est la tension dans la bobine secondaire?

- A. 0 V
- B. 40 V**
- C. 120 V
- D. 360 V

CM-13 (2 points) Le noyau d'un atome d'uranium ${}_{92}^{238}\text{U}$ a une masse de 238.0003128 u. Quelle est l'énergie de liaison de ce noyau, en MeV, sachant que $m_p = 1.0072765$ u et $m_n = 1.0086649$ u?

- A. 1.9342006 MeV
- B. 1731.859 MeV
- C. 1801.696 MeV**
- D. 445191.15 MeV

CM-14 (2 points) Le polonium se désintègre vers le plomb selon la réaction : ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb} + X$. Identifiez le type de radiation X.

- A. Alpha**
- B. Bêta β^+
- C. Bêta β^-
- D. Gamma

CM-15 (3 points) Un isotope a une demi-vie de 500 ans. S'il y avait initialement 10^{18} noyaux, et qu'il n'en reste maintenant que 10^{16} , quel est l'âge approximatif de l'échantillon?

- A. 6.38×10^{-3} années
- B. 3.32 années
- C. 2300 années
- D. 3320 années**

CM-16 (2 points) Un organe reçoit une dose biologique de 456 rads de neutrons dont l'efficacité biologique relative (RBE) est 6.20. Quelle est la dose en rem?

- A. 1.36×10^{-2} rem
- B. 1.36 rem
- C. 2830 rem**
- D. 7350 rem

(Les problèmes débutent à la page suivante.)

Problèmes (Total : 104 points) Expliquez clairement votre raisonnement et vos calculs.

P- 1. (9 points) Courant électrique.

Dans un accélérateur de particules, un faisceau de protons (charge 1.60×10^{-19} C, masse 1.67×10^{-27} kg) se déplace vers une cible. Ce faisceau constitue un courant de $0.50 \mu\text{A}$. Chaque proton a une énergie cinétique de 4.90×10^{-12} J.

- A. Combien de protons frappent la cible au cours de 15 secondes? **[3 points]**
B. Si la cible est un bloc de 0.015 kg d'aluminium, et que toute l'énergie cinétique des protons est convertie en chaleur, de combien augmentera la température du bloc au bout de 15 secondes? (Pour cette partie, vous devez savoir que la variation de température ΔT d'un objet de masse m et de chaleur spécifique c , soumis à une absorption de chaleur Q , est donnée par $\Delta T = \frac{Q}{cm}$. Pour

l'aluminium, $c = 900 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.)

[6 points]

Solution

A. $N = \frac{q}{e} = \frac{It}{e} = 4.69 \times 10^{13}$ protons

B. chaleur $Q = (4.69 \times 10^{13} \text{ protons})(4.90 \times 10^{-12} \text{ J/proton}) = 229.6875 \text{ J}$

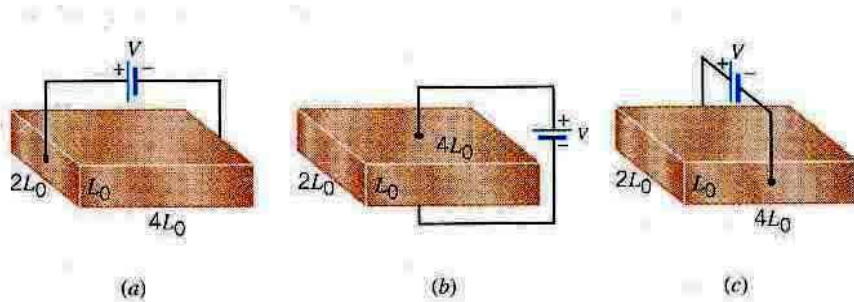
$$\Delta T = \frac{Q}{cm} \cong 17.0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

P- 2. (9 points) Résistance et résistivité.

La résistance et le courant dépendent de la trajectoire empruntée par le courant. La figure ci-dessous illustre trois parcours différents pour un même bloc de matériau. La résistivité de ce matériau vaut $\rho = 1.50 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}$, et $L_0 = 5.00 \text{ cm}$. Si le bloc est branché à une pile de 3.00 V, trouvez

- A. la résistance pour chaque parcours, et
B. le courant pour chaque parcours.

[6 points]
[3 points]



Solution

A. $R = \rho \frac{L}{A}$ avec $\rho = 1.50 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}$, et $L_0 = 0.05 \text{ m}$

(a) $R = \rho \frac{4L_0}{2L_0^2} = 2 \frac{\rho}{L_0} = 0.60 \text{ ohms}$

(b) $R = \rho \frac{L_0}{8L_0^2} = \frac{\rho}{8L_0} = 3.75 \times 10^{-2} \text{ ohms}$

(c) $R = \rho \frac{2L_0}{4L_0^2} = \frac{\rho}{2L_0} = 0.15 \text{ ohms}$

B. $I = V / R$ avec $V = 3.0 \text{ V}$

(a) **5 A**

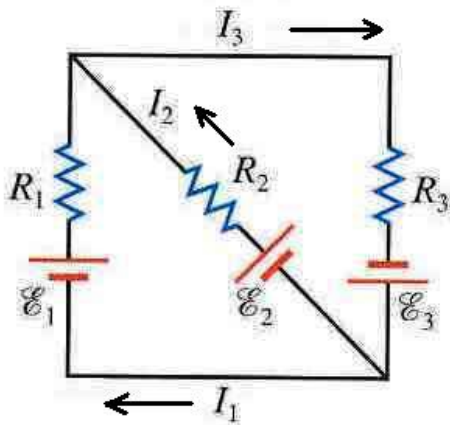
(b) **80 A**

(c) **20 A**

P- 3. (7 points). Lois de Kirchhoff.

Le circuit ci-dessous contient trois branches, chacune comportant une résistance et une source de f.é.m. En utilisant les lois de Kirchhoff, écrivez :

- A. l'équation qui relie I_1 , I_2 , et I_3 ; [1 points]
- B. I_1 en termes de ε_1 , R_1 , I_2 , ε_2 et R_2 (isolez I_1); [3 points]
- C. I_3 en termes de ε_3 , R_3 , I_2 , ε_2 et R_2 (isolez I_3). [3 points]



Solution

A. $I_3 = I_1 + I_2$

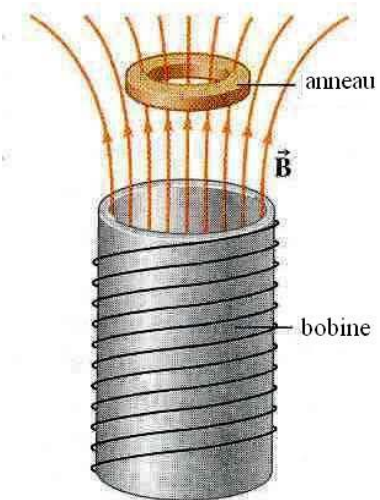
B. $I_1 = \frac{R_2 I_2 + \varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_1}$

C. $I_3 = \frac{-R_2 I_2 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{R_3}$

P- 4. (10 points). Loi de Faraday-Lenz.

Un anneau métallique est suspendu au-dessus d'une bobine dont le champ magnétique est illustré ci-dessous. Le courant dans la bobine croît.

- A. Quel est la direction du courant dans la bobine, vue du haut? [2 points]
La question aurait du se lire : *Quel est la direction du courant dans l'anneau, vu du haut?* Je n'ai donc pas enlevé de points, sauf s'il y avait pas de réponse - MdeM.
- B. Le flux dans l'anneau est proportionnel au courant dans la bobine. Lorsque ce courant vaut 12 A, le flux magnétique à travers l'anneau est $0.40 \text{ T}\cdot\text{m}^2$. Si le courant croît à un taux de 240 A/s , quelle est la fém induite dans l'anneau? [3 points]
- C. Y a-t-il une force magnétique agissant sur l'anneau? Si oui, dans quelle direction? [2 points]
- D. Si l'anneau est refroidi en étant plongé dans l'azote liquide, ce qui réduit sa résistance, qu'arrivera-t-il au courant induit? Et à la force magnétique sur l'anneau? [3 points]



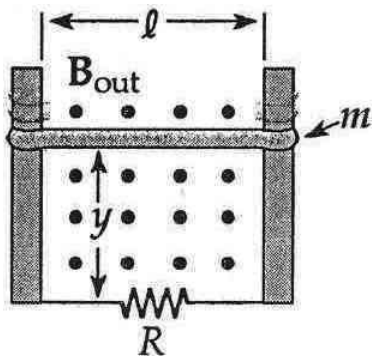
Solution

- A. Pour l'anneau : Φ_B croît ; B_{ind} vers le bas, donc I_{ind} horaire vu du haut. Avec la question telle que posée, la réponse est évidemment I_{ind} anti-horaire
- B. $\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = 8.0 \text{ V}$
- C. oui, vers le haut, comme deux aimants opposés.
- D. I_{ind} croît, donc F_{ind} croît

P- 5. (9 points) Loi de Faraday-Lenz.

Une tige horizontale de masse m et de longueur l glisse librement le long de deux rails verticaux. La résistance du circuit est R . Un champ magnétique \mathbf{B}_{out} uniforme sort de la page. À cause de son poids, la tige horizontale glisse vers le bas.

- A. Quel est le courant dans la tige lorsque sa vitesse de chute est égale à v ? **[3 points]**
- B. Est-ce que le courant I_{ind} , induit dans la tige horizontale, circule vers la gauche ou vers la droite? **[2 points]**
- C. La tige atteint une vitesse limite v_{lim} lorsque la force magnétique causée par \mathbf{B}_{out} sur le courant induit devient égale au poids de la tige. Calculez v_{lim} en termes de m , l **[longueur et non le courant-MdM]**, R et \mathbf{B}_{out} . **[4 points]**



Solution

A.
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{1}{R} \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = \frac{Blv}{R}$$

B. Φ_B diminue, B sort et I est antihoraire, donc **vers la gauche**

C. $F_B = F_g$ donne $IlB = \left(\frac{1}{R} BLv_{\text{lim}}\right)lB = mg$ et $v_{\text{lim}} = \frac{mgR}{B^2l^2}$

P- 6. (13 points) Force contre-électromotrice (back EMF).

Un moteur électrique est branché à une source de tension continue de 12 V. La résistance du moteur vaut 2Ω . À vitesse normale, la source fournit 6 W de puissance.

- A. Quel est le courant tiré par le moteur lorsqu'il ne fait que démarrer? **[2 points]**
- B. Quel est le courant à vitesse normale? **[3 points]**
- C. Quelle est la force contre-électromotrice à vitesse normale? **[3 points]**
- D. À vitesse normale, quelle est la somme de la puissance dissipée dans la résistance du moteur et de la puissance associée à la force contre-électromotrice? Expliquez brièvement votre résultat. **[3 points]**
- E. Quel est le courant à la moitié de la vitesse normale? **[2 points]**

Solution

A. $I = \frac{V - \varepsilon_{\text{back}}}{R} = 6 \text{ A}$

B. $I = \frac{P}{V} = 0.5 \text{ A}$

C. $\varepsilon = V - RI = 11 \text{ V}$

D. puissance totale : $\varepsilon I + RI^2 = 6 \text{ W}$:puissance par la pile

E. $I = \frac{12 - 11/2}{2} = 3.25 \text{ A}$

P- 7. (9 points) Inductance mutuelle.

Une petite bobine circulaire de section transversale égale à $A = 4 \text{ cm}^2$ comporte $N = 10$ enroulements. On la place au centre d'un long solénoïde comportant $n = 15$ enroulements par cm et de section transversale $A_{\text{sol}} = 10 \text{ cm}^2$. L'axe de la bobine coïncide avec l'axe du solénoïde. On suppose que le champ produit par le solénoïde est uniforme partout sur la surface de la bobine intérieure.

- A. Quelle est l'inductance mutuelle de ce système, en termes de n , N , A et A_{sol} ? **[6 points]**
- B. Quelle est la valeur numérique de l'inductance mutuelle? **[3 points]**

Solution

A.
$$M = \frac{N_1 \Phi_{12}}{I_2} = \frac{N_1 \mu_0 n_2 I_2 A_1}{I_2} = \mu_0 n N A$$

B.
$$(4\pi \times 10^{-7})(1500)(10)(4 \times 10^{-4}) = 7.54 \times 10^{-6} \text{ H}$$

P- 8. (16 points) Circuits AC.

Un circuit RCL contient une résistance de 150Ω en série avec un condensateur de $1.50 \mu\text{F}$, une inductance de 35.7 mH et une source de courant alternatif (AC) de fréquence 500 Hz dont la f.é.m. atteint une valeur maximale de $V_0 = 30 \text{ V}$.

- A. Quelle est l'impédance Z de ce circuit? **[4 points]**
B. Quel est l'angle de phase ϕ ? **[3 points]**
C. Quelle est l'amplitude V_R d'oscillation de la tension aux bornes de la résistance, sachant qu'elle est donnée par $V_R = RI_0$, où $I_0 = \frac{V_0}{Z}$ est l'amplitude du courant produit par la source? **[3 points]**
D. Même question pour l'amplitude V_C aux bornes du condensateur. **[2 points]**
E. Même question pour l'amplitude V_L aux bornes de l'inductance. **[2 points]**
F. Est-ce que $V_0 = V_R + V_C + V_L$? Expliquez brièvement. **[2 points]**

Solutions

A. $X_L = \omega L = 2\pi fL = 112 \text{ ohms}$, $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fL} = 212 \text{ ohms}$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 180 \text{ ohms}$$

B. $\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) = -33.7^\circ$

C. $I_0 = \frac{V_0}{Z}$ et $V_R = RI_0$ donnent $V_R = 25.0 \text{ V}$

D. $V_C = X_C I_0 = 35.3 \text{ V}$

E. $V_L = X_L I_0 = 18.7 \text{ V}$

F. $V_0 \neq V_R + V_C + V_L$ car seules les valeurs instantanées sont égales

P- 9. (9 points) Radioactivité.

Un échantillon radioactif contient de l'azote ^{13}N dont la demi-vie est 9.965 min.

- A. Si, à $t = 0$, l'échantillon contient 3.20×10^{12} noyaux de ^{13}N , combien de noyaux restera-t-il 40 minutes plus tard? **[3 points]**
- B. Quelle est l'activité, en dés/sec, du ^{13}N à $t = 0$? **[3 points]**
- C. Quelle est l'activité, en dés/sec, du ^{13}N à $t = 40$ minutes? **[3 points]**

Solutions

A. $N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} = 1.98 \times 10^{11}$ noyaux

B. $R = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N = 3.71 \times 10^9$ dés/sec (avec $N = 3.2 \times 10^{12}$)

C. $R = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N = 2.30 \times 10^8$ dés/sec (avec $N = 1.98 \times 10^{11}$)

P- 10. (13 points) Effets biologiques de la radiation.

On injecte du radionucléide technétium métastable $^{99}\text{Tc}^m$ à un taux de 20.0 mCi chez un patient de masse 60.0 kg sur le point de subir une gammaencéphalographie (en anglais, *brain scan*). Le $^{99}\text{Tc}^m$, dont la demi-vie est de 6 heures, se désintègre en émettant un photon de 143 keV.

- A. Quelle est l'activité R_0 du $^{99}\text{Tc}^m$ au moment de l'injection, en Bq? [2 points]
- B. Quelle est le nombre N_0 de noyaux de $^{99}\text{Tc}^m$ injectés dans le patient? Utilisez le fait que l'activité R_0 soit reliée à N_0 par $R_0 = \lambda N_0$. [3 points]
- C. Supposez que chacun des noyaux de $^{99}\text{Tc}^m$ émette un photon, et que la moitié des photons émis soit absorbée par le patient, tandis que l'autre moitié s'échappe du corps. Quelle est l'énergie totale des photons qui est absorbée, en joules? [4 points]
- D. Quelle est la dose absorbée par le patient, en rad? [2 points]
- E. Quelle dose biologique équivalente, en rem, le patient recevra-t-il, si l'efficacité biologique relative (RBE) des photons est RBE = 0.97? [2 points]

Solution

A. $(20 \times 10^{-3} \text{ Ci}) \left(3.7 \times 10^{10} \frac{\text{s}^{-1}}{\text{Ci}} \right) = 7.40 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$

B. $N_0 = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} R_0 = 2.31 \times 10^{13} \text{ noyaux}$

C. $E = \frac{1}{2} (2.31 \times 10^{13} \text{ photons}) (1.43 \times 10^5 \text{ eV/photon}) (1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV}) = 0.264 \text{ J}$

D. $\frac{0.264 \text{ J}}{60 \text{ kg}} \frac{1 \text{ rad}}{0.01 \text{ J/kg}} = 0.44 \text{ rad}$

E. $0.44 \text{ rad} \times \text{RBE} = 0.43 \text{ rem}$

Bonnes vacances d'été!