PHYSQ 126 LEC B1 - Fluides, champs et radiation
Examen final - Hiver 2013

Nom_____**SOLUTIONS**_____

Numéro d'étudiant.e_____

Professeur Marc de Montigny
Date Jeudi, 25 avril 2013, de 9 h à midi
Lieu Gymnase, rangée 1

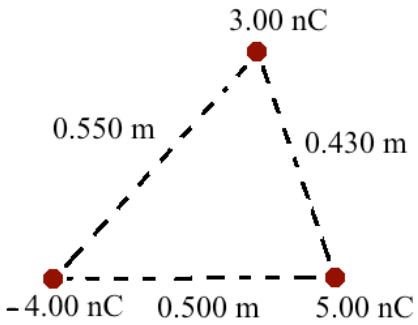
Instructions

- Cet examen contient **15 pages**. Écrivez-y directement vos réponses.
- L'examen vaut **35%** de la note finale du cours. Il compte 35 points.
- L'examen contient **20 questions**. Vous pouvez obtenir une partie des points même si votre réponse finale est erronée. Expliquez de façon claire et précise.
- Cet examen est à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire que vous aurez complété avec d'autres formules. Vous perdrez 5/35 si vous y avez inclus des solutions ou si vous ne retournez pas l'aide-mémoire avec l'examen.
- Vous pouvez utiliser le verso des pages pour vos calculs. Je **ne le corrigerai pas, sauf** si vous m'indiquez de le faire.
- Matériel permis: crayons ou stylos, calculatrices (programmables et graphiques permises). Tout système de communication est interdit. Mettez vos téléphones cellulaires hors circuit.

Si quelque chose n'est pas clair, n'hésitez pas à me le demander !

Question 1. Potentiel électrique et travail [2.5 points]

Considérez les trois charges de la figure ci-dessous. Quel travail *externe* sera requis pour déplacer la charge de 3.00 nC jusqu'à l'infini ? D'après votre réponse, est-ce que la charge de 3.00 nC est spontanément retenue ou repoussée par les deux autres charges ?



Solution

$W_{\text{ext}} = \Delta U, \quad U = \sum \dfrac{kq_j q_k}{r_{jk}}$ mènent à

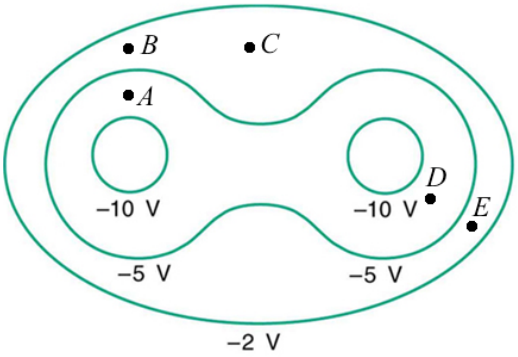
$$W_{i\to\infty} = U_\infty - U_i = \frac{kq_4q_5}{r_{45}} - \left(\frac{kq_3q_4}{r_{34}} + \frac{kq_3q_5}{r_{35}} + \frac{kq_4q_5}{r_{45}}\right) = -\left(3\times10^{-9}\right)\left(9\times10^{9}\right)\left(\frac{-4\times10^{-9}}{0.55} + \frac{5\times10^{-9}}{0.43}\right)$$

qui donne $W_{\text{ext}} = -1.18\times10^{-7}$ J $= -118$ nJ

Un travail externe négatif implique qu'il faut retenir la charge, qui est donc repoussée par les deux autres charges.

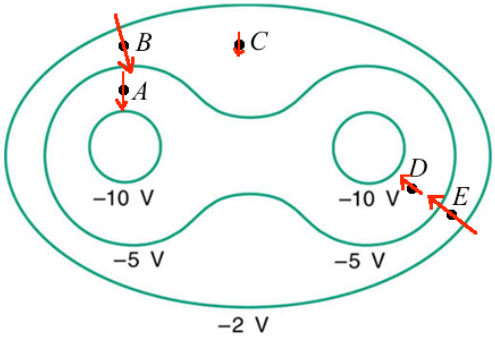
Question 2. Courbes équipotentielles [1.0 point]

La figure ci-dessous montre des courbes équipotentielles. Pour chaque point, *A* à *E*, indiquez sur le schéma la direction et la grandeur relative du champ électrique **E**. Indiquez qualitativement dans quelle région **E** est plus ou moins grand.



Solution

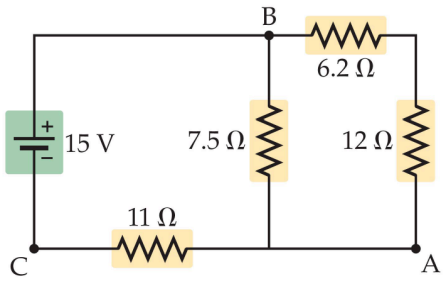
A et B : **E** vers le bas et un peu plus grand en B.
C : **E** vers le bas et plus petit qu'en A et B.
D et E : **E** vers le haut à gauche, et plus grand en E.



Question 3. Potentiel électrique dans un circuit [3.5 points]

Considérez un circuit contenant quatre résistances et une pile de 15.0 V.

A. Quelle est la résistance équivalente totale ?
B. Quel courant circule dans la pile ?
C. Quelle est la différence de potentiel aux bornes de 7.5 Ω ?
D. Quel est le courant dans 7.5 Ω ?
E. Quel est le courant dans 6.2 Ω ?
F. Si $V_C = 0$, que vaut V_B ?
G. Si $V_C = 0$, que vaut V_A ?



Solution

A. $R_{eq} = 11 + \left(7.5^{-1} + (6.2+12)^{-1}\right)^{-1} = 16.31128\ \Omega = 16.3\ \Omega$

B. $I_{11} = \dfrac{\varepsilon}{R_{eq}} = \dfrac{15}{16.31128} = 0.9196 = 0.920\ \text{A}$

C. Aux bornes de 11 Ω, nous avons $V_{11} = (11)(0.9196) = 10.1156\ \text{V}$. Il reste donc 15 – 10.1156 = 4.8844 V = 4.88 V aux bornes de 7.5 Ω.

D. $I_{7.5} = \dfrac{V_{7.5}}{R_{7.5}} = \dfrac{4.8844}{7.5} = 0.65125 = 651\ \text{mA}$

E. De la loi des courants, il reste donc 0.9196 – 0.65125 = 0.268347 = 268 mA dans 6.2 Ω (et 12 Ω).

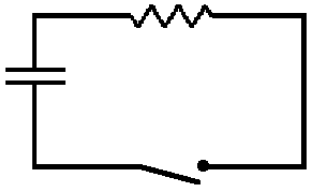
F. En allant de C à B, on voit que $V_B = V_C + \varepsilon = 15.0\ \text{V}$

G. En allant de C à A, on voit que $V_A = V_C + R_{11} I_{11} = (11)(0.9196) = 10.1\ \text{V}$

Question 4. Circuits RC [2.0 points]

À t = 0 s, on ferme l'interrupteur du circuit ci-dessous, de sorte qu'un condensateur (initialement chargé de 3.51 μC) de capacité C = 7.84 μF est en série avec une résistance R = 4.62 MΩ.

A. Que vaut la constante de temps τ ?
B. Quelle est la charge à t = 10 s ?
C. À quel temps t la charge vaut-elle 1.00 μC ?



Solution

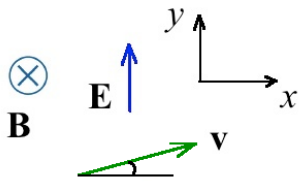
A. $\tau = RC = \left(7.84\times10^{-6}\right)\left(4.62\times10^{6}\right) = 36.2$ s

B. $q = Qe^{\frac{-t}{RC}} = \left(3.51\ \mu\text{C}\right)e^{\frac{-10}{36.2}} = 2.66$ μC

C. En isolant t, on trouve $t = -RC\ln\dfrac{q}{Q} = -36.2\ln\dfrac{1.00}{3.51} = 45.5$ s

Question 5. Forces électrique et magnétique sur une charge [3.0 points]

Un objet de charge q = 6.12 µC et de masse m = 1.88 g se dirige à 30° au-dessus de l'axe + x à $v = 5.24 \times 10^4$ m/s. Un champ électrique E = 3500 V/m pointe vers + y et un champ magnétique B = 0.0248 T pointe dans la page. Quelle est l'accélération (*grandeur* et *direction*) de cet objet causée par **E** et **B** ?



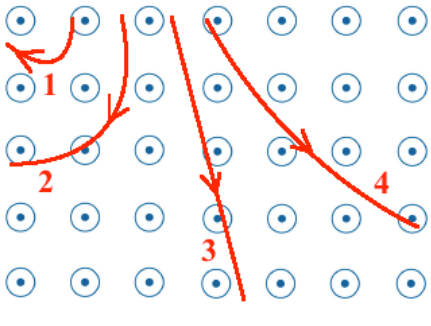
Solution

La force totale est donnée par $\vec{F}_{tot} = \vec{F}_E + \vec{F}_B = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$, avec $\vec{E}$ vers + y et $\vec{v} \times \vec{B}$ qui pointe à 30° à gauche de l'axe y. L'accélération est $\vec{a} = \dfrac{\vec{F}_{tot}}{m}$.

On calcule que $\vec{F}_E$ = 0.02142 N vers + y et $\vec{F}_B$ = 0.007953 N à 30° (l'angle vaut 90° entre **v** et **B**) à gauche de l'axe y. En décomposant $\mathbf{F_B}$ selon x et y et en additionnant les composantes avec $\mathbf{F_E}$, on trouve $\vec{F}_{tot} = \left(-3.976531 \times 10^{-3}, 2.8307554 \times 10^{-2}\right)$, de sorte que $\vec{a} = (-2.115, 15.057)$ m/s^2. L'accélération a donc une grandeur de 15.2 m/s^2 à 8° à gauche de l'axe y.

Question 6. Force magnétique sur une charge [1.0 point]

La figure montre les trajectoires de quatre particules ayant des charges et des vitesses égales dans un champ magnétique uniforme qui sort de la page.



A. Classez les particules *en ordre croissant* de masse :

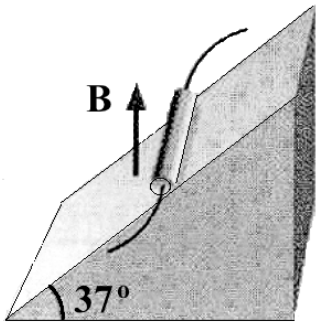
1, 2, 4, 3 car $m = \dfrac{qB}{v} r \propto r$

B. Indiquez le signe de chaque particule :

1 : +
2 : +
3 : 0 **Pas de points perdus pour la particule 3, car c'est ambigu.**
4 : –

Question 7. Force magnétique sur un courant [2.0 points]

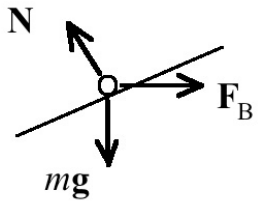
Une tige conductrice de longueur L = 15 cm et de masse m = 30 g est placée horizontalement sur un plan incliné à 37°. Un courant circule dans cette tige par des fils conducteurs souples de masse négligeable. Un champ magnétique B = 0.25 T pointe verticalement vers le haut. La tige sera en équilibre pour quel courant (donnez le *sens* et la *grandeur*) circulant dans celle-ci ?



Solution

Trois forces agissent sur la tige : la normale **N** (perpendiculaire au plan), le poids $m\mathbf{g}$ (vers le bas), et la force magnétique $\mathbf{F}_B$, qui pointe vers la droite si le courant entre dans la page. On sait que $F_B = ILB$ ($\theta = 90°$ et sin(90) = 1)

Diagramme des forces sur le courant



La décomposition des forces donne

horizontal : $-N\sin\theta + ILB = 0$

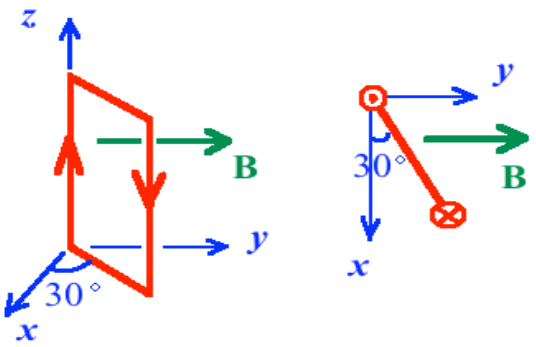
vertical : $N\cos\theta - mg = 0$

En isolant I, on trouve $I = \dfrac{mg}{LB}\tan\theta = \dfrac{(0.03)(9.81)}{(0.15)(0.25)}\tan 37 =$ 5.91 A

Question 8. Moment magnétique [1.0 point]

Les figures ci-dessous montrent deux perspectives d'une boucle rectangulaire parcourue par un courant. Le plan de la boucle fait un angle de 30° par rapport au plan *xz*. La figure de droite est la même boucle vue du dessus.

A. Tracez le vecteur moment magnétique $\boldsymbol{\mu}$ sur la figure de votre choix.
B. Montrez (sur la figure de votre choix) dans quelle direction la boucle aura tendance à tourner sous l'action du champ magnétique **B**.



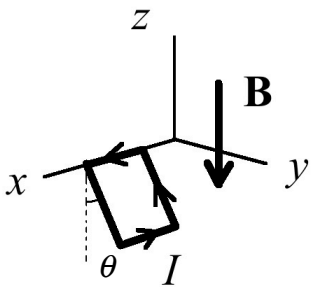
Solution

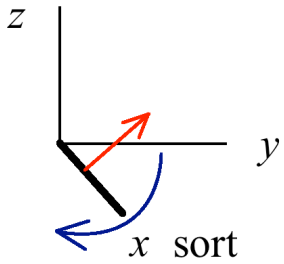
A. Fig. de droite : vers le haut à droite, perpend. à la boucle
B. Fig. droite : horaire

Question 9. Boucle de courant et moment magnétique [2.0 points]

Un cadre de 5.00 cm par 7.00 cm contenant 12 enroulements est parcouru par un courant de 0.8 A par enroulement et fait un angle de $\theta = 30°$ par rapport au plan *xz*. Un champ magnétique **B** de 0.36 T pointe dans la direction $-z$.

A. Quel est le moment magnétique $\boldsymbol{\mu}$ (*grandeur* et *direction*) du cadre?
B. Quelle est la grandeur du moment de force exercé par **B** sur le cadre?
C. Dans quelle direction le cadre aura-t-il tendance à tourner sous l'action de **B**?





Solution

A. $\vec{\mu} = NIA = (12)(0.8)(0.05\times 0.07) = 3.36\times 10^{-2}$ A m^2 (direction illustrée en rouge)

B. $\tau = \mu B \sin\theta = \left(3.36\times 10^{-2}\right)(0.36)\sin(90+30) = 1.05\times 10^{-2}$ N m

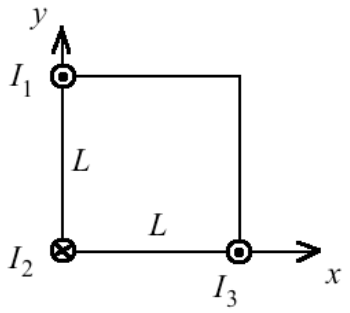
C. Autour de l'axe *x* dans le sens horaire (direction illustrée en bleu)

Question 10. Champ magnétique créé par un courant [2.5 points]

Trois longs fils conducteurs parallèles passent par les coins d'un carré de côté égal à L = 20 cm. On donne I_1 = 2 A (sort de la page), I_2 = 5 A (entre dans la page) et I_3 = 3 A (sort de la page). Les axes x et y sont montrés; les courant sont donc parallèles à z.

A. Quelles sont les *composantes* du champ magnétique total qui est causé par les courants I_1 et I_3 à la position du fil I_2 ?

B. Quelles sont la *grandeur* et la *direction* de la force magnétique par mètre (par le champ calculé à la question A) sur le fil I_2 ?



Solution

A. Le champ créé par I_1 au point 2 vaut $B_{21} = \dfrac{\mu_0 I_1}{2\pi L} = \dfrac{(4\pi\times10^{-7})(2)}{2\pi(0.20)} = 2\times10^{-6}$ T vers la droite. Le champ créé par I_3 au point 2 vaut $B_{23} = \dfrac{\mu_0 I_3}{2\pi L} = \dfrac{(4\pi\times10^{-7})(3)}{2\pi(0.20)} = 3\times10^{-6}$ T vers le bas. Le champ au point 2 est donc $\vec{B}_2 = (2,-3)\times10^{-6}$ T

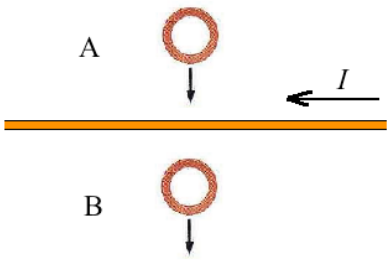
Ce champ a une grandeur de 3.60555×10^{-6} T à 56.3º sous l'axe x (au sud de l'est).

B. La grandeur de la force sur 2 est $F_2 = I_2 L B_2 \sin 90° = (5)(1)(3.60555\times10^{-6})$

$= 1.80\times10^{-5}$ N à 56.3º à droite de l'axe y (à l'est du nord).

Question 11. Loi de Faraday-Lenz [1.5 point]

Un courant constant circule dans un long fil conducteur horizontal qui crée un champ magnétique **B** assujetti à la loi d'Ampère. La figure ci-dessous montre un anneau qui tombe dans **B**. Pour les positions A et B, indiquez s'il y a un courant induit et si ce courant induit est dans le sens horaire ou anti-horaire.



Solution

Loi d'Ampère: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ c.-à-d. B augmente en s'approchant du fil et diminue en s'éloignant.

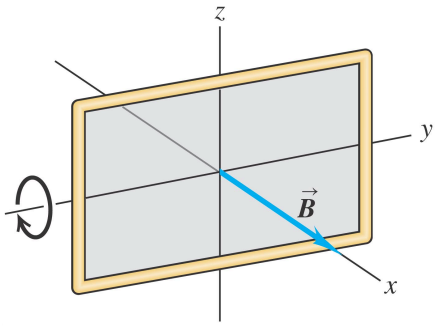
À la position A, **B** entre dans la page, le flux augmente, $\mathbf{B}_{ind}$ sort de la page, il y a un courant induit dans le sens anti-horaire.

À la position B, **B** sort de la page, le flux diminue, $\mathbf{B}_{ind}$ sort de la page, il y a un courant induit dans le sens anti-horaire.

Question 12. Induction électromagnétique [2.0 points]

Un cadre rectangulaire de base 15.0 cm et de hauteur 10.0 cm est initialement dans le plan *yz*. Un champ **B**, uniforme et constant, pointe dans la direction *x* avec grandeur B = 2.00 T. Pendant 0.750 s, ce cadre tourne de 60° autour de l'axe *y* dans le sens indiqué par la flèche juste à gauche du cadre.

A. Quelle est la grandeur de la fém induite dans ce cadre?
B. Dans la section supérieure du cadre, le courant induit circulera-t-il vers +*y* ou – *y* pendant la rotation?



Solution

A. L'angle θ (entre **B** et la perpendiculaire au cadre) passe de de 0° à 60° en $\Delta t = 0.75$ s. On a A = (0.150 m) (0.100 m) = 0.0150 m^2.
On calcule donc

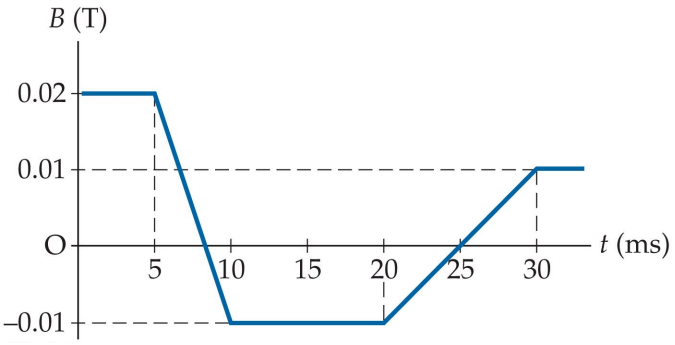
$$\varepsilon = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \frac{BA\left|\cos\theta_f - \cos\theta_i\right|}{\Delta t} = \frac{(2)(0.015)\left|\cos 60 - \cos 0\right|}{0.75} = 20.0 \text{ mV}$$

B. En tournant, $\Delta\Phi_B$ diminue, donc $\vec{B}_{\text{induit}}$ est dans le même sens que $\vec{B}$ (vers +*x*); la règle de la main droite nous montre que I_{induit} est anti-horaire, et donc vers – *y*.

Question 13. Induction électromagnétique [2.5 points]

Une boucle circulaire avec N = 155 tours de rayon 3.38 cm est perpendiculaire à un champ magnétique **B** dont la grandeur varie dans le temps tel qu'illustré ci-dessous. Quelle est la fém induite (incluant le signe) dans cette boucle à l'instant :

A. t = 7.50 ms?
B. t = 15.0 ms?
C. t = 25.0 ms?



Solution

$$\varepsilon = -NA\frac{\Delta B}{\Delta t} = -NA \times \text{pente}$$

NA = 0.5563 m^2

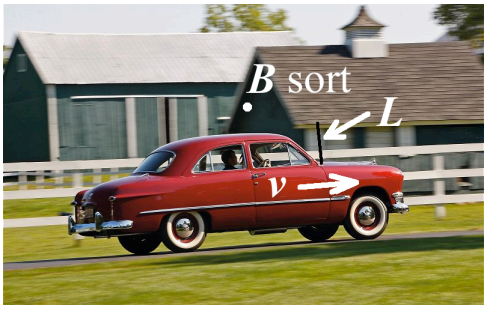
A. $\text{pente} = \dfrac{-0.03}{0.005} = -6$, fém = +3.34 V

B. pente = 0, fém = 0.00 V

C. $\text{pente} = \dfrac{+0.02}{0.010} = 2$, fém = –1.11 V

Question 14. Fém de mouvement [1.0 point]

Une auto roule à v = 90.0 km/h. Son antenne est verticale et mesure L = 72.0 cm. Si la composante du champ magnétique perpendiculaire à l'antenne et à la vitesse vaut $B = 1.82\times10^{-5}$ T, quelle sera la fém induite entre les deux extrémités de l'antenne?

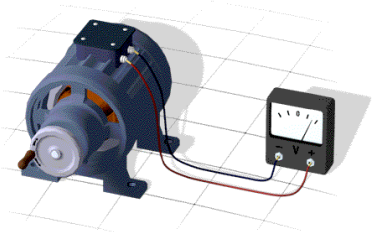


Solution

$$\varepsilon = BLv = \left(1.82\times10^{-5}\right)(0.72)\left(90\ \text{km/h}\times\frac{1000\ \text{m}}{\text{km}}\times\frac{1\ \text{h}}{3600\ \text{s}}\right) = 0.328\ \text{mV}$$

Question 15. Générateur électrique [1.5 point]

On construit un générateur électrique en enroulant un fil conduteur de longueur totale 11.6 m autour d'une bobine de rayon 3.20 cm. Si cette bobine est dans un champ magnétique B = 0.075 T, à combien de tours par minute (c.-à-d. rpm) doit-elle tourner pour générer une fém maximale de 1.5 V?



Solution

Les relations $\varepsilon_{\max} = NBA\omega$, $N = \dfrac{\ell}{2\pi r}$ et $A = \pi r^2$ donnent $\varepsilon_{\max} = \dfrac{\ell}{2\pi r}B\left(\pi r^2\right)(2\pi f)$

d'où $f = \dfrac{\varepsilon_{\max}}{B\pi r\ell} = \dfrac{1.5}{(0.075)\pi(0.032)(11.6)}$ = 17.15 tr/s = 1030 rpm

Question 16. Circuits RL [1.5 point]

Une bobine d'induction est combinée en série avec une résistance et une pile. On observe que le courant dans le circuit atteint 95% de sa valeur maximale 2.24 s après que le circuit ait été fermé.

A. Quelle est la constante de temps τ de ce circuit?
B. Si l'inductance de la bobine vaut 275 mH, quelle est la valeur de la résistance?

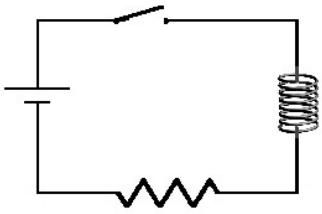
Solution

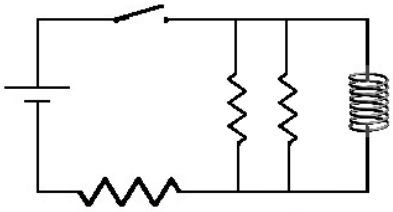
A. On utilise $I = I_{\text{final}}\left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right)$ où la constante de temps est $\tau = \frac{L}{R}$. Avec les données de la questions, la première équation devient $0.95 I_{\text{final}} = I_{\text{final}}\left(1 - e^{\frac{-2.24}{\tau}}\right)$, qui donne $0.95 = 1 - e^{\frac{-2.24}{\tau}}$, $e^{\frac{-2.24}{\tau}} = 1 - 0.95$, $-\frac{2.24}{\tau} = \ln 0.05$, $\tau = -\frac{2.24}{\ln 0.05} = 0.748$ s

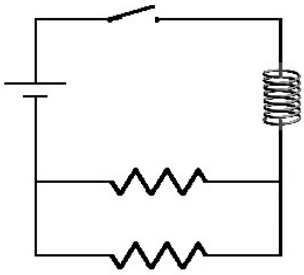
B. $R = \frac{L}{\tau} = \frac{0.275}{0.748} = 0.368\ \Omega$

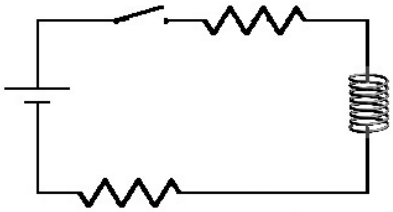
Question 17. Circuits RL [1.0 point]

Les quatre circuits électriques ci-dessous contiennent chacun une bobine d'induction L, une pile ε et des résistances R égales. Considérez ces circuits longtemps après avoir fermé l'interrupteur. Classez-les en ordre croissant du courant final dans la pile.

A. 

B. 

C. 

D. 

Solution

Après un temps assez long, le courant dans la bobine devient constant et V_L devient nul, de sorte que la bobine est semblable à un fil conducteur. Les résistances équivalentes deviennent donc A. R, B. R, C. $R/2$, D. $2R$. Comme le courant est inversement proportionnel à la R_{eq}, on a donc $I_D < I_A = I_B < I_C$.

Question 18. Transformateurs [1.0 point]

Considérez un transformateur élévateur (*step-up tranformer*) idéal, pour lequel on obtient 4800 V à la sortie si le voltage à l'entrée vaut 160 V.

A. Si ce transformateur contient 25 enroulements à l'entrée, combien d'enroulements contient-il à la sortie?

B. Pour obtenir 12 mA à la sortie quel doit être le courant à l'entrée ?

Solution On utilise $\dfrac{V_p}{V_s} = \dfrac{N_p}{N_s} = \dfrac{I_s}{I_p}$

A. $N_s = \dfrac{V_s}{V_p} N_p = \dfrac{4800}{160} 25 = 750$; B. $I_p = \dfrac{V_s}{V_p} I_s = \dfrac{4800}{160} 0.012 = 360 \text{ mA}$

Question 19. Physique nucléaire et désintégrations [1.0 point]

Pour chacune des réactions nucléaires ci-dessous, insérez les nombres de masse et les nombres atomiques manquants sur les tirets.

A. $^{11}_{6}\mathrm{C} \rightarrow \ ^{_}_{_}\mathrm{B} + \beta^{+}$

B. $^{231}_{90}\mathrm{Th}^{*} \rightarrow \ ^{_}_{_}\mathrm{Th} + \gamma$

C. $^{210}_{84}\mathrm{Po} \rightarrow \ ^{_}_{_}\mathrm{Pb} + \alpha$

D. $^{211}_{82}\mathrm{Pb} \rightarrow \ ^{_}_{_}\mathrm{Bi} + \beta^{-}$

Solution

A. $^{11}_{6}\mathrm{C} \rightarrow \ ^{11}_{5}\mathrm{B} + \beta^{+}$; B. $^{231}_{90}\mathrm{Th}^{*} \rightarrow \ ^{231}_{90}\mathrm{Th} + \gamma$; C. $^{210}_{84}\mathrm{Po} \rightarrow \ ^{206}_{82}\mathrm{Pb} + \alpha$;

D. $^{211}_{82}\mathrm{Pb} \rightarrow \ ^{211}_{83}\mathrm{Bi} + \beta^{-}$

Question 20. Physique nucléaire et dosimétrie [1.5 point]

Un échantillon biologique de 380 g reçoit une dose de 432 rad de neutrons, dont l'efficacité biologique RBE = 6.10.

A. Que vaut la dose reçue en rem ?
B. Quelle quantité d'énergie est reçue, en joules ?
C. Si la même dose en rem est livrée plutôt en rayons alpha (RBE = 18), quelle dose en rad est requise ?

Solution

A. (432 rad)(6.10) = 2635 rem
B. (4.32 J/kg)(0.380 kg) = 1.64 joules
C. rad = rem/RBE = 2635/18 = 146 rad

Passez un bel été !

Marc de Montigny