

NOM, PRENOM (en majuscules)

SECTION (barrer la mention inutile)

Biologie

Géographie

Géologie

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 3 juin 2015

I. Théorie (20 points – 1 heure 15')

Justifiez toujours vos réponses.

(les simples affirmations du type oui / non ne sont pas prises en compte)

Les résultats numériques doivent être exprimés

- en unités du Système international ;
- avec la précision adéquate, sous peine d'être considérés comme incorrects.

Note théorie :

/20

1. Énoncez la loi de Gauss de l'électrostatique, en définissant toutes les grandeurs et toutes les expressions mathématiques que vous introduisez.
(3 points)

$$\int \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon}$$

où :

\vec{E} est le champ électrostatique

$d\vec{S}$ est un élément de surface orienté de la surface de Gauss

Q est la charge totale enfermée dans la surface de Gauss

ϵ est la permittivité du milieu.

2. Définissez, en précisant toutes les grandeurs et symboles mathématiques que vous introduisez :

a) résistance électrique

b) permittivité d'un matériau

c) circulation du champ magnétique

d) inductance d'un élément de circuit électrique

(4 points)

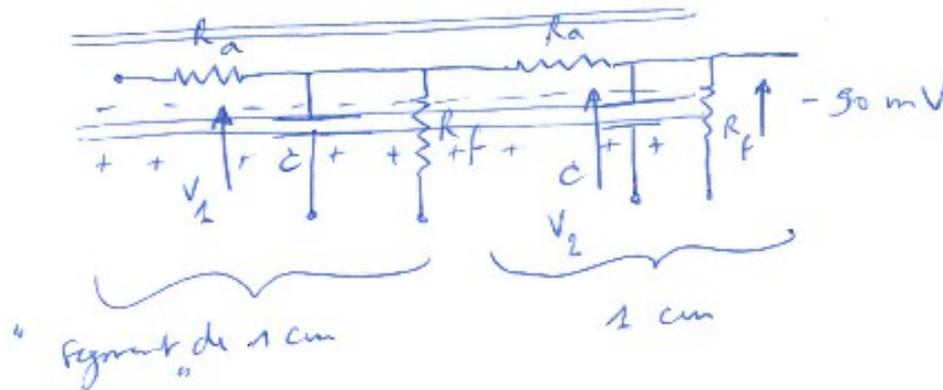
voir cours

3. Citez deux raisons pour lesquelles le signal nerveux se propage plus vite dans un axone myélinisé que dans un axone qui n'est pas entouré de myéline. (2 points)

Le signal nerveux est un courant d'ions dans l'axone. Trois paramètres influent sur la vitesse de propagation :

- la résistance de l'axoplasme R_a
- la capacité de la membrane de l'axone C
- la résistance de la membrane à travers laquelle le courant peut fuir, R_f

(voir schéma ci-dessous).

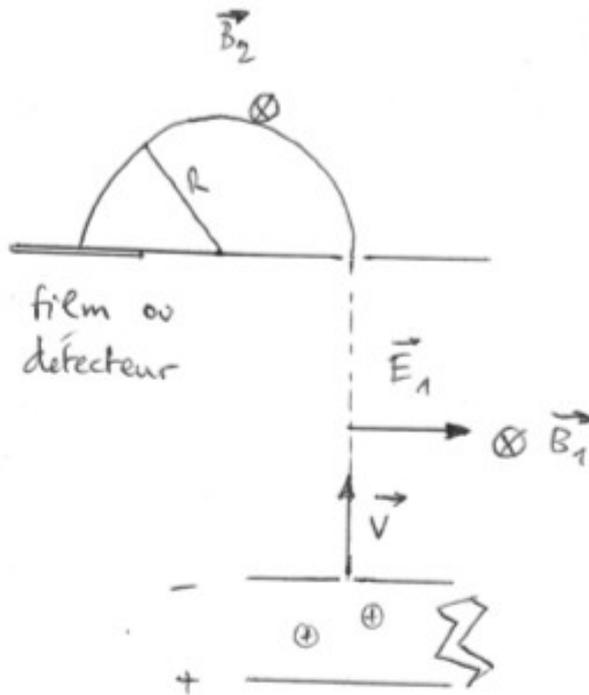


La gaine de myéline a deux effets :

- elle augmente l'épaisseur de la membrane, donc elle diminue sa capacité (d'un facteur environ 200). La membrane se charge donc plus vite ($R_a C$ diminue) ;
- elle ajoute une gaine isolante autour de la membrane, donc elle augmente la résistance de fuite R_f (d'un facteur environ 200 également) et diminue le courant qui fuit à travers la membrane. Le signal nerveux s'atténue donc moins.

NB : il n'y a pas de raison particulière pour que le facteur de diminution de C et le facteur d'augmentation de R_f soient égaux ; c'est un hasard qui dépend de la composition chimique de la myéline.

4. Expliquez le principe de fonctionnement du spectromètre de masse à partir des lois qui décrivent les forces électrique et magnétique.
(4 points)



Le spectromètre de masse comporte :

- une source d'ions des différents composants du matériau à analyser ;
- une ddp accélératrice qui produit un faisceau d'ions de masses et de vitesses différentes ;
- un sélecteur de vitesse, avec un champ magnétique \vec{B}_1 perpendiculaire au vecteur vitesse \vec{v} des ions, et un champ électrique \vec{E}_1 perpendiculaire à \vec{v} et \vec{B}_1 (voir la figure). Seuls les ions dont la vitesse est telle que la force totale $\vec{F} = q\vec{E}_1 + q\vec{v} \times \vec{B}_1$ est nulle poursuivent en ligne droite, soit ceux dont la norme de la vitesse vaut $v = \frac{E_1}{B_1}$;
- un séparateur avec seulement un champ magnétique \vec{B}_2 perpendiculaire à \vec{v} . Dans ce champ, les ions soumis à une force centripète d'intensité qvB_2 décrivent une trajectoire circulaire dont le rayon se calcule par $qvB_2 = m\frac{v^2}{R}$, soit : $R = m\frac{v}{qB_2}$.
Le rayon est donc proportionnel à la masse de l'ion, et celui-ci est alors détecté à un endroit bien spécifique dépendant de sa masse.

5. Dans un circuit RLC connecté en série soumis à une tension sinusoïdale :

a) que vaut le déphasage entre la tension aux bornes de la capacité et la tension aux bornes de l'inductance ?

(1 point)

b) démontrez l'expression de la pulsation de résonance du circuit.

(1 point)

c) quelle est l'expression de l'impédance du circuit à la résonance ? Justifiez.

(1 point)

d) démontrez l'expression du facteur d'amplification entre l'amplitude de la tension aux bornes de la capacité et l'amplitude de la tension aux bornes du générateur à la résonance.

(2 points)

a) elles sont en opposition de phase : déphasage = π

b) à la résonance, les tensions aux bornes de la capacité et aux bornes de l'inductance s'annulent. Leurs amplitudes s'expriment en fonction de l'amplitude du courant comme :

$$V_{C,0} = \frac{I_0}{C\omega} \text{ aux bornes de la capacité, et}$$

$$V_{L,0} = I_0 L \omega \text{ aux bornes de l'inductance.}$$

$$\text{Donc } \frac{I_0}{C\omega} - I_0 L \omega = 0 \text{ pour } \omega_{rés}^2 = \frac{1}{LC}.$$

c) L'impédance à la résonance vaut R : par la loi des mailles, à la résonance, la tension $V(t)$ aux bornes du générateur vaut :

$$V(t) = V_C(t) + V_L(t) + V_R(t) = V_R(t) = RI(t).$$

d) Le facteur d'amplification vaut :

$$\frac{V_{C,0}}{V_0} = \frac{\frac{I_0}{C\omega_{rés}}}{RI_0} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

6. Expliquez pourquoi la perméabilité d'un matériau ferromagnétique n'est pas constante lorsqu'on fait varier le champ magnétique dans lequel le matériau est plongé. (2 points)

La perméabilité d'un matériau se définit comme :

$$\mu = \frac{B}{B_0} = \frac{B_0 + M}{B_0} = 1 + \chi$$

où M est l'aimantation du matériau, et χ est la susceptibilité magnétique du matériau. Pour que μ soit constante, il faut que l'aimantation soit proportionnelle au champ B_0 extérieur.

Or le mécanisme de l'aimantation est que les dipôles magnétiques constitués par les électrons du matériau s'alignent progressivement dans la direction de B_0 quand B_0 augmente. Lorsqu'ils sont tous alignés, M atteint sa valeur maximum (typiquement de l'ordre de 1 Tesla) et donc le rapport $\frac{B_0 + M}{B_0}$ diminuera si B_0 augmente encore.

NOM, PRENOM (en majuscules)

SECTION (barrer la mention inutile)

Biologie

Géographie

Géologie

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 3 juin 2015

II. Exercices (20 points – 2 heures)

Justifiez toujours vos réponses.

(les simples affirmations du type oui / non ne sont pas prises en compte)

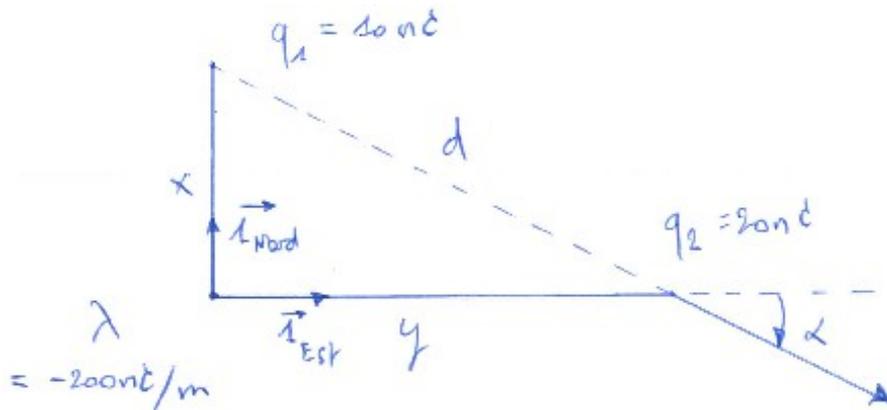
Les résultats numériques doivent être exprimés

- en unités du Système international ;
- avec la précision adéquate, sous peine d'être considérés comme incorrects.

Questions	1	/5	2	/5	3	/5	4	/5
------------------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------	----------	-----------

Note totale exercices : /20

1. Une charge électrique ponctuelle de 10 nC est placée au nord d'un fil rectiligne vertical, à une distance de 3,0 mm de celui-ci. Le fil vertical porte une densité de charge électrique uniforme de -200 nC par mètre. Quelle force subit une charge électrique ponctuelle de 20 nC, située à 6,0 mm à l'est du fil dans le même plan horizontal que la première charge, si le milieu environnant est de l'air ?
(5 points)



La force est la somme vectorielle des forces causées par la charge de 10 nC et par le fil uniformément chargé :

Force exercée par la charge de 10 nC :

$$\text{Norme : } |\vec{F}_1| = \frac{k q_1 q_2}{d^2} = \frac{k q_1 q_2}{x^2 + y^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 10^{-9}}{9 \cdot 10^{-6} + 36 \cdot 10^{-6}} = 0,04 \text{ N}.$$

$$\text{Donc } \vec{F}_1 = 0,04 \text{ N} \cos \alpha \vec{1}_{\text{Est}} + 0,04 \text{ N} \sin \alpha \vec{1}_{\text{Nord}} ;$$

$$\text{où } \cos \alpha = \frac{6}{\sqrt{3^2 + 6^2}} = 0,894 \text{ et } \sin \alpha = \frac{-3}{\sqrt{3^2 + 6^2}} = -0,447 .$$

Force exercée par le fil :

$$\vec{F}_2 = q_2 \vec{E}_{\text{fil}} = q_2 \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 y} \vec{1}_{\text{Est}} = 20 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{-200 \cdot 10^{-9}}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \vec{1}_{\text{Est}} = -0,012 \text{ N} \vec{1}_{\text{Est}}.$$

Donc la force totale sur la charge de 20 nC :

$$\vec{F} = 0,024 \text{ N} \cdot \vec{1}_{\text{Est}} - 0,018 \text{ N} \cdot \vec{1}_{\text{Nord}}$$

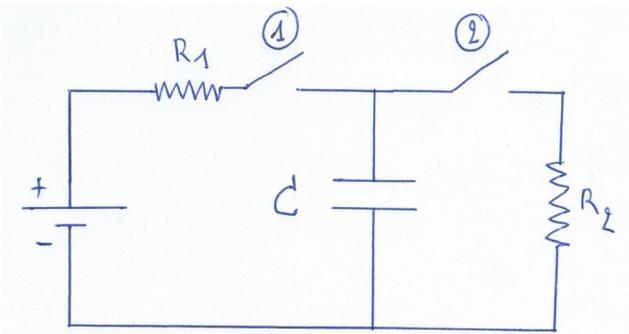
2. Dans le circuit ci-dessous, les deux interrupteurs sont initialement ouverts. La source fournit une tension continue de 4,5 V. La capacité, initialement déchargée, est de 10 μF . La résistance R_1 vaut 100 Ω et la résistance R_2 , 300 Ω . On ferme l'interrupteur 1, on attend une seconde environ, puis on rouvre l'interrupteur 1. Ensuite on ferme l'interrupteur 2.

a) Combien de temps faut-il attendre après avoir fermé l'interrupteur 2, pour que la tension aux bornes de la capacité atteigne 15 % de sa valeur maximale ?

(3 points)

b) Quand la capacité aura été complètement déchargée, quelle énergie aura-t-elle été dissipée dans la résistance R_2 ?

(2 points)



La capacité se charge après que l'interrupteur 1 ait été fermé. La constante de temps $R_1 C$ vaut 1 ms, donc en une seconde, la capacité est complètement chargée à une tension de 4,5 V.

a) la capacité se décharge à travers la résistance R_2 ; la tension change au cours du temps selon :

$$V(t) = V_0 e^{-t/R_2 C}, \text{ où } V_0 = 4,5 \text{ V.}$$

La tension atteint 15 % de V_0 au temps t pour lequel :

$$e^{-t/R_2 C} = 0,15$$

$$\text{soit : } t = -R_2 C \ln(0,15) = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ s.}$$

b) Toute l'énergie électrostatique stockée dans la capacité aura été dissipée par effet Joule dans la résistance, puisque la tension aux bornes de la capacité sera revenue à 0. Donc :

$$E = \frac{1}{2} C V^2 = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ J.}$$

3. On construit un cyclotron sur le principe du cyclotron de Lawrence, d'un rayon d'environ $\frac{1}{2}$ mètre et équipé d'un champ magnétique uniforme. Une source peut libérer au centre du cyclotron soit des protons, soit des noyaux d'hélium complètement ionisés, He^{++} , avec une énergie cinétique négligeable. Calculez le rapport entre l'énergie cinétique des protons et celle des noyaux d'hélium à la sortie du cyclotron, si on ne modifie pas le champ magnétique lorsqu'on change de particules. Supposez que la masse du noyau d'hélium est 4 fois celle du proton. (5 points)

La quantité de mouvement d'une particule à la sortie du cyclotron est déterminée par le rayon de celui-ci, R , et son champ magnétique, B . Pour une particule de charge q on a :

$$p = qBR$$

donc la particule sort avec une vitesse :

$$v = \frac{qBR}{m} .$$

Le rapport des énergies cinétiques des protons et des noyaux d'hélium est donc :

$$\frac{E_{cin, He}}{E_{cin, p}} = \frac{\frac{1}{2} m_{He} \left(\frac{q_{He} B R}{m_{He}} \right)^2}{\frac{1}{2} m_p \left(\frac{q_p B R}{m_p} \right)^2} = \frac{q_{He}^2}{q_p^2} \frac{m_p}{m_{He}} = 1.$$

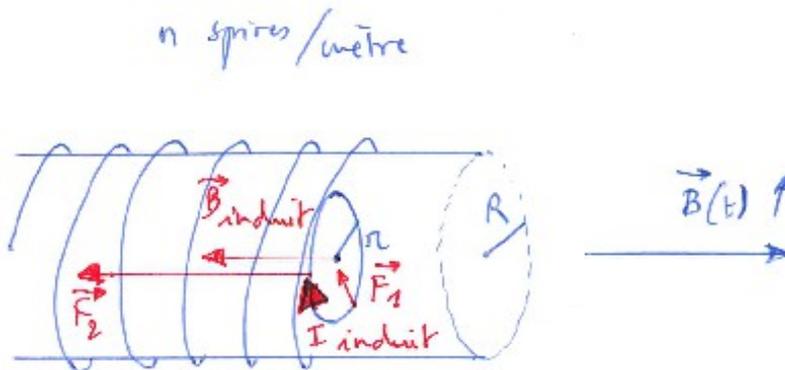
4. Un solénoïde très long est constitué d'un fil conducteur bobiné sur un tuyau cylindrique creux de rayon R . Il comporte n spires serrées par mètre de bobinage. Il est parcouru par un courant qui augmente linéairement au cours du temps, $I(t) = a.t$, où a s'exprime en Ampères par seconde. On place dans le tuyau un anneau conducteur circulaire fermé, de même axe que le solénoïde et de rayon $r < R$.

a) Quelle est l'expression de la force électromotrice induite dans l'anneau ?

(3 points)

b) Une force s'exerce sur l'anneau : pourquoi ? Représentez la direction de cette force sur un schéma suffisamment explicite.

(2 points)



a) On trouve l'expression de la f.é.m. ϵ par la loi d'induction de Faraday :

$$\epsilon = \frac{-d\Phi_B}{dt} = \frac{-d(\pi r^2 B)}{dt}$$

et le champ magnétique dans le solénoïde est donné (approximativement) par :

$$B = \mu_0 n I = \mu_0 n . a t$$

$$\text{Donc } \epsilon = -\pi r^2 \mu_0 n a$$

b) Car un courant induit circule dans l'anneau conducteur.

Si le champ B augmente, il y a à la fois une force radiale \vec{F}_1 qui tend à comprimer l'anneau (force de Laplace sur le courant induit), et une force répulsive \vec{F}_2 dans l'axe du solénoïde (le dipôle magnétique créé par le courant dans l'anneau et le champ magnétique extérieur sont antiparallèles).

Si le champ B diminue, il y a à la fois une force radiale qui tend à ouvrir l'anneau (force de Laplace sur le courant induit), et une force attractive dans l'axe du solénoïde (le dipôle magnétique créé par le courant dans l'anneau et le champ magnétique extérieur sont parallèles).