

NOM, PRENOM (en majuscules)

SECTION (barrer la mention inutile)

Biologie

Géographie

Géologie

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 4 juin 2014

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.

a) Etablissez l'expression du champ électrique à une distance d du centre d'une sphère conductrice de rayon R placée dans le vide, uniformément chargée et portant une charge positive $+Q$, dans les cas $d \geq R$ et $d < R$.

(3 points)

b) Donnez l'expression du potentiel électrique en fonction de d , en distinguant les mêmes cas. Faites-en un graphique, en indiquant en particulier le potentiel en $d = R$ et lorsque la distance d tend vers l'infini.

(2 points)

a)

Cas $d < R$: dans la sphère conductrice le champ est nul (propriété des conducteurs).

Cas $d \geq R$: on calcule le champ par le théorème de Gauss :

$$\int \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

où Q est la charge enfermée dans la surface de Gauss et ϵ_0 est la permittivité du vide.

Choix de la surface de Gauss qui exploite la symétrie du champ : on prend une sphère de même centre que la sphère chargée et de rayon d . Alors :

$$\int \vec{E} \cdot d\vec{S} = E(d) \cdot 4\pi d^2$$

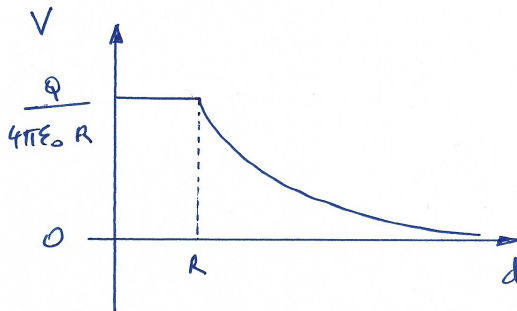
Donc $E(d) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 d^2}$, dans la direction radiale.

b)

Cas $d \geq R$: même potentiel qu'au voisinage d'une charge ponctuelle (si on choisit le point de référence à l'infini) : $V(d) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 d}$; tend vers 0 à l'infini.

Cas $d < R$: la sphère conductrice est équipotentielle, son potentiel vaut :

$V(d=R) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}$. Vérification : il faut travailler pour approcher une charge positive de la sphère depuis l'infini, donc $V(d)$ est positif.



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

- a) perméabilité du vide**
 - b) résistivité d'un matériau**
 - c) matériau diamagnétique**
 - d) inductance d'un solénoïde**
- (4 points)**

a) A une distance r d'un fil rectiligne parcouru par un courant d'intensité I , l'intensité du champ magnétique dans le vide vaut : $B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$, où μ_0 est la perméabilité du vide.

Ou encore : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m.A}^{-1}$.

b) La résistance d'un barreau de longueur l et de section S est : $R = \frac{\rho l}{S}$, où ρ est la résistivité du matériau.

c) Matériau qui s'aimante faiblement et dans la direction opposée au champ extérieur ; l'aimantation est de l'ordre de 10^{-5} . Ou encore : matériau dont la susceptibilité magnétique χ est négative et de l'ordre de $(-1 \cdot 10^{-5})$.

d) L'inductance est le paramètre L qui relie la f.é.m. induite et la variation du courant dans le solénoïde :

$$\epsilon = -L \frac{dI}{dt}$$

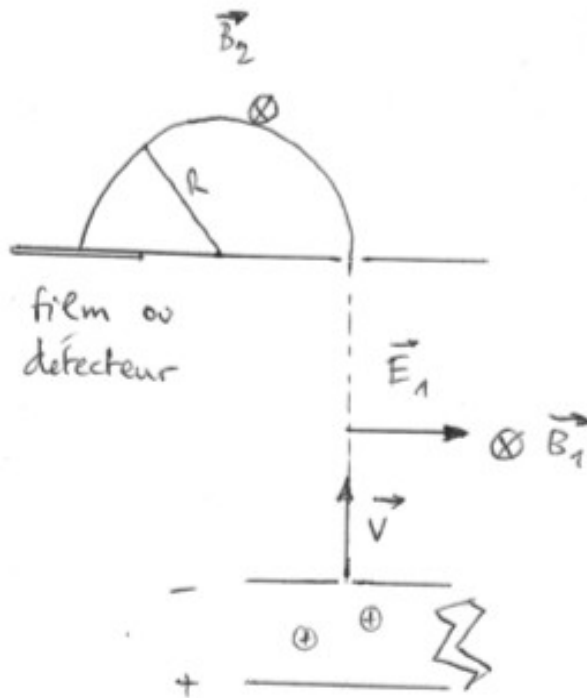
3. Expliquez comment le courant alternatif permet de transporter efficacement la puissance électrique.
(3 points)

Grace aux transformateurs, on peut facilement élever ou abaisser la tension d'une source de courant alternatif, sans perdre de puissance électrique.

Une puissance électrique utile peut alors être transportée à haute tension et faible courant. L'avantage est que la puissance perdue par effet Joule dans les câbles, $P_J = R I_{eff}^2$, est réduite.

Les transformateurs sont basés sur l'induction magnétique, qui ne fonctionne que lorsque le flux du champ magnétique varie au cours du temps. Il faut donc que le courant électrique qui produit ce champ varie au cours du temps.

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, 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. Etablissez l'expression de la tension aux bornes d'un générateur constitué de N spires serrées de surface S tournant dans un champ magnétique uniforme, autour d'un axe perpendiculaire au champ magnétique, avec une vitesse angulaire constante ω .
(4 points)**

voir cours.

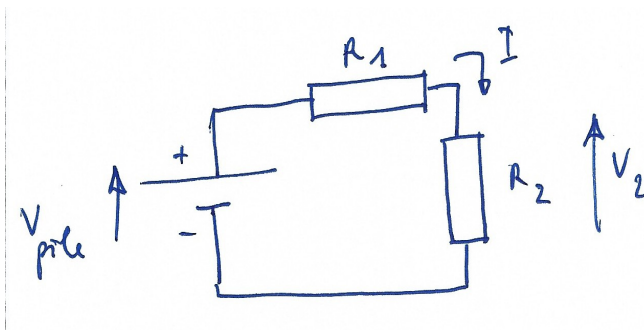
1. Une pile qui fournit une tension continue de 2,2 V est raccordée à deux barreaux de carbone connectés en série. Le premier a une longueur de 4,0 cm et une section de 1,0 mm², et le deuxième, une longueur de 8,0 cm et une section de 0,80 mm². La résistivité du carbone est de $3,5 \cdot 10^{-5} \Omega \cdot m$.

a) Calculez la différence de potentiel aux bornes du deuxième barreau.

(4 points)

b) Calculez la puissance électrique fournie par la pile.

(1 point)



a) les barreaux constituent deux résistances en série :

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S_1} = 1,4 \Omega \quad ; \quad R_2 = \rho \frac{l_2}{S_2} = 3,5 \Omega \quad .$$

Tension aux bornes de la deuxième résistance : $V_2 = R_2 I$, où I est le courant qui traverse

tout le circuit : $I = \frac{V_{pile}}{R_1 + R_2}$; donc $V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{pile} = 1,6 V$.

b)
$$P = \frac{V_{pile}^2}{R_1 + R_2} = 0,99 W$$

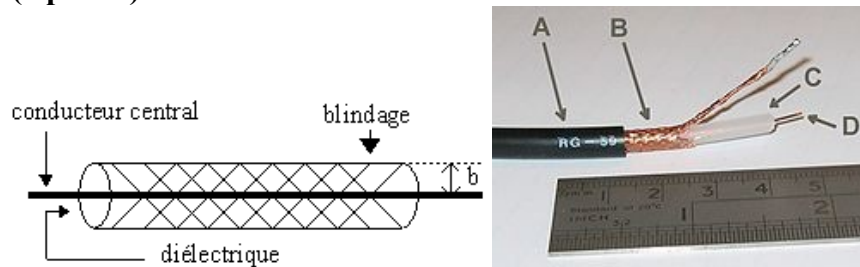
2. Le câble coaxial représenté sur les figures ci-dessous comporte un fil conducteur central (D) de 1,4 mm de diamètre et un blindage (B) constitué d'un tressage de fils conducteurs. Le conducteur central et le blindage sont séparés par un isolant (C) d'épaisseur $b = 2,0$ mm et de perméabilité égale à celle du vide, et le blindage est entouré d'un isolant (A) (non représenté sur le schéma de gauche).

a) Calculez le champ magnétique qui règne à la surface du conducteur central, si celui-ci est parcouru par un courant de 2,0 A.

(2 points)

b) A une extrémité du fil, on raccorde le conducteur central au blindage, de façon que le courant qui parcourt le conducteur central revienne par le blindage. Dans cette situation, calculez la circulation du champ magnétique sur un contour qui entoure le câble.

(2 points)



a) Le champ s'obtient directement par : $B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,0}{2\pi \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}} = 5,7 \cdot 10^{-4} T$. Il est comparable au champ magnétique terrestre.

b) Selon la loi d'Ampère : $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I_i$, où $\sum I_i$ est la somme des courants enfermés dans le contour. Ici $\sum I_i = 0$, donc $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$.

**3. Des particules chargées identiques, initialement au repos, sont accélérées par une différence de potentiel de 12 kV. Le faisceau ainsi formé est envoyé dans un dispositif où règnent un champ électrique et un champ magnétique perpendiculaires entre eux et perpendiculaires à la direction d'entrée du faisceau. L'intensité du champ magnétique est de 0,070 Tesla, et on ajuste la valeur du champ électrique de sorte que le faisceau ne soit pas dévié, ce qui se produit pour un champ de 106 kV/m. Calculez le rapport q/m entre la charge et la masse des particules du faisceau.
(5 points)**

L'énergie cinétique des particules après accélération vaut $\frac{1}{2} m v^2 = q \Delta V$.

Le dispositif est un sélecteur de vitesse : si les particules ne sont pas déviées, leur vitesse vaut :

$$v = \frac{E}{B} .$$

Donc :

$$\frac{q}{m} = \frac{1}{2 \Delta V} \left(\frac{E}{B} \right)^2 = 96.10^6 \text{ C/kg}.$$

4. Une spire conductrice carrée comporte deux cotés verticaux et deux cotés horizontaux, de longueur a . Elle est fixée sur un appareil qui la maintient immobile et qui permet de mesurer le moment de force qui s'exerce sur elle. Elle est raccordée à une résistance R . La spire se trouve dans un champ magnétique horizontal faisant un angle de 45° par rapport à la normale au plan de la spire, et dont l'intensité varie sinusoidalement avec une fréquence f : $B(t) = B_0 \sin(2\pi ft)$.

a) Calculez l'expression de l'intensité du courant qui circule dans la spire.

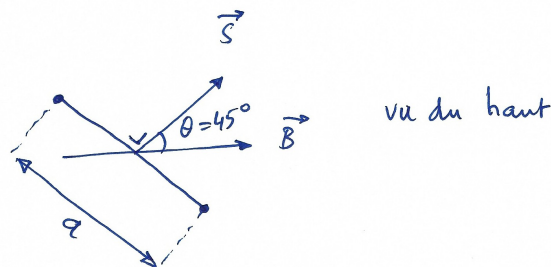
(2 points)

b) Calculez l'expression du moment de force qui s'exerce sur la spire, et donnez sa direction.

(3 points)

c) On observe que le moment de force change de sens deux fois plus fréquemment que le champ magnétique. Expliquez cela en phrases ou par calcul.

(1 point)



a) Force électromotrice induite dans la spire :

$$\epsilon = \frac{-d\phi_B}{dt} = \frac{-d(S \cdot B_0 \sin(2\pi ft) \cdot \cos 45^\circ)}{dt} = \frac{-\sqrt{2}}{2} S B_0 (2\pi f) \cos(2\pi ft).$$

Donc le courant s'exprime comme :

$$I = \frac{-\sqrt{2}}{2} \frac{S B_0}{R} (2\pi f) \cos(2\pi ft).$$

b) Le moment de forces cause par la force magnétique sur le courant qui parcourt la spire s'exprime comme :

$\vec{\tau} = \vec{\mu}_S \times \vec{B}$ où $\vec{\mu}_S$ est le moment dipolaire magnétique de la spire, dont la norme vaut : $\mu_S = I S$ et la direction est le vecteur normal au plan de la spire. Donc :

$$\tau = \mu_S B \sin 45^\circ = \frac{-1}{2} \frac{S^2 B_0^2}{R} (2\pi f) \sin(2\pi ft) \cos(2\pi ft), \text{ dirigé verticalement car le}$$

moment dipolaire magnétique de la spire et le champ magnétique sont deux vecteurs dans le plan horizontal.

c) $2 \sin(a) \cos(a) = \sin(2a)$, donc la fonction $\sin(2\pi ft) \cdot \cos(2\pi ft)$ est de fréquence $2f$.

En mots : pendant la demi-période où le champ magnétique est positif : le sens du courant s'inverse quand le champ magnétique commence à décroître, donc le moment de forces s'inverse aussi, alors que le champ est toujours dans la même direction. Et similairement pendant la demi-période où le champ magnétique est négatif.