NOM, PRENOM (en majuscules) ….…………………………...………………………..……

SECTION (barrer la mention inutile)

Biologie **Géographie** **Géologie**

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 23 aout 2012

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 d'Ampère en définissant toutes les grandeurs qui interviennent. (3 points)

Loi d'Ampère :

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu \sum I$$

avec :

$\vec{B}$: champ magnétique

$d\vec{l}$: élément de parcours fermé

μ : perméabilité du milieu

$\sum I$: somme des intensités des courants enfermés dans le parcours fermé

2. Donnez la définition, en précisant toutes les grandeurs qui interviennent, et donnez les unités dans le système international, de :
a) flux du champ électrique
b) résistivité d'un matériau
c) force électromotrice induite
(6 points)

a) Le flux du champ électrique à travers une surface quelconque $\phi_E = \int_S \vec{E}.d\vec{S}$, où $\vec{E}$ est le champ électrique, et $d\vec{S}$ est un élément de surface orienté.
Unité : V.m (Volt fois mètre).

Réponse acceptée : si le champ est uniforme et la surface est plane, alors :
$\phi_E = E.S\cos\theta$, où θ est l'angle entre le vecteur champ électrique et le vecteur normal à la surface.

b) La résistivité ρ d'un matériau homogène est défini par :
$R = \rho\frac{L}{S}$, où R est la résistance d'un barreau de longueur L et de section S du matériau.
Unité : Ω.m (Ohm fois mètre).

c) $e = \frac{-d\phi_B}{dt}$, où $\frac{d\phi_B}{dt}$ est la variation du flux du champ magnétique au cours du temps.
Unité : Volts.

3. 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)

Par la loi d'induction, la tension induite dans une spire s'exprime selon :
$e=\frac{-d\,\phi_B}{dt}=\frac{-d\,(B.S\cos\theta)}{dt}$, où θ est l'angle entre le vecteur champ magnétique et le vecteur normal à la surface de la spire.

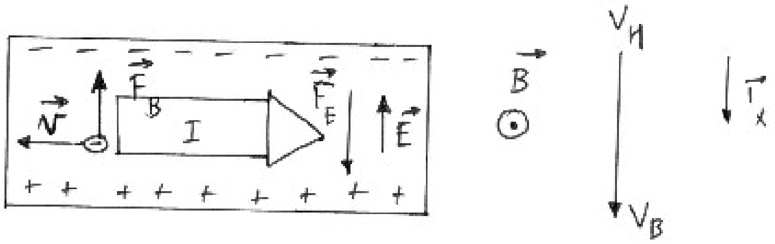
Comme la spire tourne à vitesse angulaire constante, l'angle θ augmente en fonction du temps : $\theta(t)=\omega t$, donc :

$$e=\frac{-d\,\phi_B}{dt}=-BS\frac{d\cos\theta(t)}{dt}=BS\sin\theta(t).\frac{d\,\theta(t)}{dt}=BS\sin\theta(t).\omega$$

Les *N* spires sont en série, donc :
$e_{tot}=NBS\,\omega.\sin(\omega t)$

4. Expliquez le principe du magnétomètre à effet Hall.
(4 points)

Le magnétomètre à effet Hall permet de mesurer le champ magnétique à partir de la différence de potentiel qui s'établit entre les faces latérales d'un conducteur plongé dans ce champ lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Cette différence de potentiel s'établit dans la direction perpendiculaire au courant (voir schéma).



Les porteurs de charge mobiles qui constituent le courant se déplacent à vitesse moyenne v et subissent une force magnétique perpendiculaire au courant. Supposons la charge des porteurs négative, et les sens du courant et du champ magnétique comme précisés sur le schéma. Alors :

$$\vec{F}_B = -qvB\,\vec{1}_x$$

Les charges (-) s'accumulent sur la face supérieure du conducteur et créent un champ électrique du bas vers le haut, qui exerce une force électrique sur les charges mobiles, dans la direction opposée à la force magnétique. L'équilibre s'établit et l'accumulation de charges cesse lorsque :

$$\vec{F}_E = qvB\,\vec{1}_x$$
$$\vec{E} = -vB\,1_x$$

Alors la différence de potentiel entre les faces du conducteur s'obtient en intégrant le champ électrique (constant) d'une face à l'autre :

$V_{Bas} - V_{Haut} = -\int_{Haut}^{Bas} -vB\,dx = vBL$, où L est la largeur du conducteur.

Cette différence de potentiel est proportionnelle à B.

5. Etablissez l'expression du potentiel électrique à une distance *d* d'une charge ponctuelle +*Q* en partant de l'expression du champ électrostatique produit par cette charge.
(3 points)

Si on prend l'infini comme point de référence, le potentiel électrique en un point A à une distance *d* de la charge se calcule comme :

$$V_A - V_\infty = -\int_\infty^A \vec{E}\,.\,d\,\vec{r}$$

où $\vec{E}$ est le champ électrique.

Autour d'une charge ponctuelle le champ électrique est radial et son expression est :

$$\vec{E}(r) = \frac{+Q}{4\pi\epsilon r^2}\vec{1}_r$$

Donc :

$$V_A - V_\infty = -\int_\infty^d \frac{+Q}{4\pi\epsilon r^2}\,.\,dr = \left[\frac{+Q}{4\pi\epsilon r}\right]_\infty^d = \frac{+Q}{4\pi\epsilon d} \quad .$$

Vérification du signe : il faut travailler pour amener une charge positive $+q$ de l'infini vers une charge $+Q$, donc le potentiel doit être positif, ce qui est le cas.

NOM, PRENOM (en majuscules) ..………………………...…………………….……

SECTION (barrer la mention inutile)

Biologie **Géographie** **Géologie**

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 23 aout 2012

II. Exercices (20 points – 2 heures)

<u>Justifiez toujours vos réponses.</u>
(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 (/04)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**

Note totale exercices : **/20**

1. Deux barreaux homogènes de 13 cm de longueur sont connectés en parallèle à une source de tension continue de 5,4 V.
a) Si la section du premier barreau est le double de la section du deuxième, et si la résistivité du matériau qui le constitue est 4,4 fois plus petite que celle du matériau qui constitue le deuxième barreau, que vaut le rapport de l'intensité des courants dans les deux barreaux ?
(2 points)
b) Tracez les graphes du potentiel électrique et du champ électrique en fonction de la position le long d'un des barreaux. Indiquez les valeurs du potentiel et du champ aux extrémités du barreau.
(2 points)

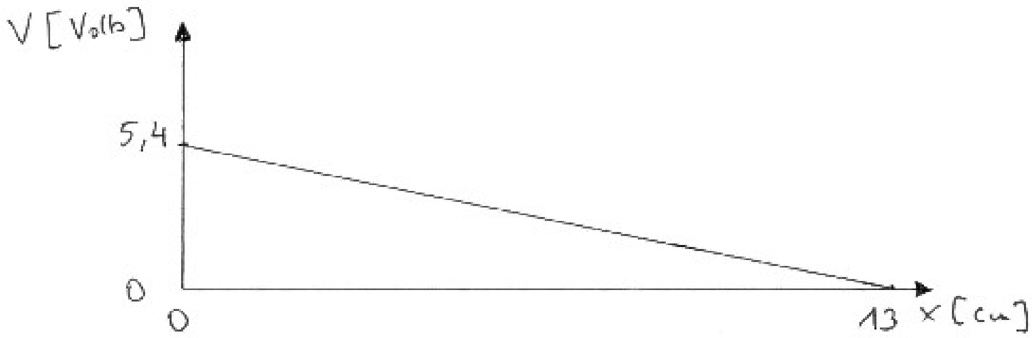
a) La même tension est appliquée aux bornes des deux barreaux car ils sont en parallèle, donc

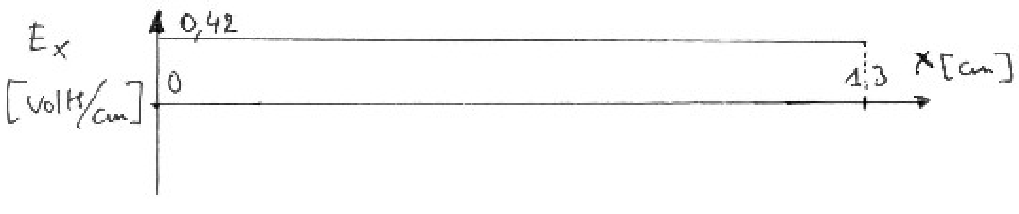
$$\frac{I_2}{I_1}=\frac{V_2}{R_2}\cdot\frac{R_1}{V_1}=\frac{R_1}{R_2}$$

Or $R=\rho\frac{L}{S}$

donc $\frac{I_2}{I_1}=\frac{\rho_1}{\rho_2}\frac{S_2}{S_1}=\frac{1}{4{,}4}\cdot\frac{1}{2}=0{,}11.$

b) Comme le barreau est homogène, la résistance entre une extrémité du barreau et un point situé à une distance x est proportionnelle à x. La chute de potentiel sera donc proportionnelle à x. Alors les allures de $V(x)$ et de la composante du champ électrique selon x sont :





2. Un condensateur d'une capacité de 15 nF est chargé sous une tension de 12 V puis déconnecté de la source de tension. Une résistance de 3,6 kΩ est alors connectée entre ses bornes.
a) Calculez l'expression de la puissance électrique dissipée dans la résistance en fonction du temps.
(2 points)
b) Calculez l'énergie totale qui aura été dissipée dans la résistance après décharge complète de la capacité.
(2 points)

a) Le courant décroit exponentiellement dans le circuit selon les formules du circuit *RC* série.

Donc : $P(t)=R I^2(t)=R(\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau})^2$ avec $\tau=RC$,

soit :
$P(t)=0{,}040(e^{-t/5{,}4.10^{-5}s})^2\ Watts.$

b) L'énergie électrostatique stockée dans un condensateur chargé vaut :
$E_{tot}=\frac{1}{2}C V_0^2=1{,}1.10^{-6}\ J.$
Par conservation de l'énergie, elle sera dissipée complètement dans la résistance lorsque le condensateur aura été complètement déchargé.

Autre raisonnement : on retrouve cette valeur en intégrant la puissance dissipée en fonction du temps : $E=\int_0^\infty P(t)dt=\int_0^\infty R(\frac{V_0}{R})^2 e^{-2t/\tau}dt=[\frac{V_0^2}{R}\cdot\frac{-\tau}{2}e^{-2t/\tau}]_0^\infty=\frac{1}{2}C V_0^2=1{,}1.10^{-6}\ J.$

3. Des atomes de plomb ionisés au repos sont accélérés par une différence de potentiel de 9,0 kV. Ils sont ensuite envoyés dans un dispositif où règnent un champ électrique perpendiculaire à la direction initiale du faisceau d'ions et un champ magnétique perpendiculaire à cette direction et au champ électrique. Quel doit être le rapport des intensités des champs électrique et magnétique dans le dispositif pour que les atomes ionisés deux fois (Pb^{++}) ne soient pas déviés ? Prenez la charge de l'électron égale à -1,6.10^{-19} C et la masse d'un atome de plomb égale à 3,5.10^{-25} kg.
(4 points)

Pour que la force totale qui s'exerce sur les ions dans le dispositif soit nulle, il faut :

$$q\vec{E} = -q\vec{v}\times\vec{B}$$

soit en norme :

$$E/B = v$$ (principe du sélecteur de vitesse).

Après avoir traversé la ddp. de 9 kV, les atomes ont une énergie cinétique :

$$E_{cin} = qV_0 = \frac{1}{2}mv^2 \quad .$$

Alors :

$$E/B = \sqrt{\frac{2qV_0}{m}} = \sqrt{\frac{2.1,6.10^{-19}.9.10^3}{3,5.10^{-25}}} = 91.10^3\, m/s.$$

4. On mesure les variations de champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde long d'inductance *L* et de résistance *R* par l'intermédiaire d'une petite spire circulaire placée en son milieu, perpendiculairement à l'axe. A un moment donné, on applique une tension continue de V_0 volts aux bornes du solénoïde.
a) Calculez l'expression de la tension aux bornes de la petite spire de mesure en fonction du nombre *n* de spires par unité de longueur du solénoïde, de la surface S_2 de la spire de mesure, de la perméabilité magnétique μ de l'air dans le solénoïde, et de *L* et *R*.
(3 points)
b) Quelle est la différence de potentiel aux bornes de la spire de mesure très longtemps après avoir connecté la source de tension au solénoïde ? Justifiez.
(1 point)

a) La force électromotrice induite dans la petite spire se calcule par la loi de Faraday : $\epsilon_2(t) = \frac{-d\,\phi_2(t)}{dt}$, où $\phi_2(t)$ est le flux du champ magnétique dans la petite spire. Ce flux vaut $\phi_2(t) = S_2 B(t)$ car la petite spire est perpendiculaire à l'axe du solénoïde et le champ dans ce dernier est pratiquement uniforme et parallèle à l'axe.

Le champ *B* dans le solénoïde se calcule à partir du courant qui y circule :
$B(t) = \mu\, n\, I(t)$.

Le courant dans le solénoïde s'établit progressivement après qu'on y ait appliqué la tension V_0. Son expression s'obtient à partir des formules des circuits *RL* série :
$I(t) = \frac{V_0}{R}(1 - e^{-t/\tau})$, où $\tau = L/R$.

Donc :

$$\epsilon_2(t) = \frac{-S_2 \mu\, n\, V_0}{R} \frac{d}{dt}(1 - e^{-t/\tau})$$
$$\epsilon_2(t) = \frac{-S_2 \mu\, n\, V_0}{R}.(-1).(\frac{-1}{\tau}) e^{-t/\tau}$$
$$\epsilon_2(t) = \frac{-S_2 \mu\, n\, V_0}{L}.\, e^{-t/\tau}$$

b) Très longtemps après avoir connecte la source de tension $(t \gg \tau)$, un courant constant $I(t) = \frac{V_0}{R}$ circule dans le solénoïde. Le champ magnétique qui y règne est donc constant, et donc la f.é.m. induite dans la petite spire est nulle.

5. Un cadre vertical carré de 49,0 cm^2 de surface peut pivoter autour d'un de ses cotés verticaux. Autour de ce cadre, 11 spires de fil de cuivre sont bobinées et un courant continu de 120 mA circule dans le fil. Le cadre est plongé dans un champ magnétique horizontal uniforme de 0,740 T.
a) Dans quelle(s) condition(s) le moment de forces exercé sur le cadre par le champ magnétique est-il maximum en norme, et combien vaut-il ?
(2 points)
b) Dans quelle(s) condition(s) le moment de forces sur le cadre est-il minimum en norme, et combien vaut-il ?
(2 points)

a) $\vec{\tau}=\vec{\mu}\times\vec{B}$, où $\vec{\mu}$ est le moment dipolaire magnétique de la bobine. Le moment de forces est maximum lorsque $\vec{\mu}$ et $\vec{B}$ sont perpendiculaires, c'est-à-dire quand le vecteur perpendiculaire à la surface de la bobine est perpendiculaire à $\vec{B}$, c'est-à-dire lorsque le cadre est parallèle au champ. Sa norme vaut :
$\tau=NISB=11.0{,}120.49{,}0.10^{-4}.0{,}740=4{,}79.10^{-3}\,Nm.$

Autre raisonnement : la seule force qui ait un moment par rapport au coté vertical autour duquel le cadre pivote, est la force magnétique qui s'exerce sur le courant qui parcourt le coté vertical opposé à l'axe. Ce moment vaut en norme :
$|\tau|=|L.BIL.cos\theta|$,
où L est la longueur du coté du cadre, et θ est l'angle entre la direction des cotes horizontaux et la direction du champ magnétique (voir schéma). Le moment de forces est maximum quand le cadre est parallèle au champ, et :
$\tau=L^2.\,BI.cos\,0^o=4{,}79.10^{-3}\,Nm.$

b) soit par $\vec{\tau}=\vec{\mu}\times\vec{B}$, soit par $\tau=L.BIL.cos\theta$, le moment de forces est minimum en norme et vaut 0 lorsque le champ est perpendiculaire au cadre.