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

SECTION (barrer la mention inutile)

Biologie **Géographie** **Géologie**

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 22 août 2013

I. Théorie (20 points – 1 heure 15')

<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.

Note théorie : **/20**

1. A une distance *d* d'un long fil rectiligne uniformément chargé, on mesure un champ électrique radial d'intensité *E*. Etablissez l'expression de la densité linéique de charge le long du fil en fonction de *d* et de *E*, en utilisant la loi de Gauss. Définissez toutes les grandeurs que vous introduisez.
(4 points)

Loi de Gauss :

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

où Q est la charge enfermée dans la surface de Gauss et ϵ est la permittivité du milieu.

Choix de la surface de Gauss qui exploite la symétrie du champ : on prend un cylindre dont l'axe est sur le fil, de rayon *d* et de hauteur *h*.

$$\int \vec{E} . d\vec{S} = E . 2\pi d\, h$$

et la charge enfermée $Q = \lambda h$, où λ est la charge linéique.

Donc :
$$\lambda = \epsilon\, 2\pi\, d\, E$$

2. Définissez les grandeurs suivantes et donnez leurs unités dans le système international, en précisant toutes les grandeurs que vous introduisez.
a) flux du champ magnétique
b) force électromotrice induite
c) différence de potentiel électrostatique
(6 points)

a) $\varphi_B = \int \vec{B} . d\vec{S}$; où $\vec{B}$ est le champ magnétique et $d\vec{S}$ est un morceau de surface orienté. Unités : [T.m^2]

b) $\epsilon = \dfrac{-d\varphi_B}{dt}$; où φ_B est le flux du champ magnétique. Unités : [V]

c) Différence de potentiel électrostatique entre les points A et B :
$\Delta V_{AB} = -\int_A^B \vec{E} . d\vec{l}$; où $\vec{E}$ est le champ électrique et $d\vec{l}$ est un élément du chemin entre A et B. Unités : [V]

3. L’intensité du champ magnétique terrestre sous nos latitudes est d'environ $0{,}5.10^{-4}$ T et ce champ est aisément détecté par une boussole. A quelle distance d'un éclair de 20 kA peut-on s'attendre à un champ d’intensité comparable ? Prenez $4\pi.10^{-7}$ $T.m.A^{-1}$ comme valeur de la perméabilité de l'air.
(2 points)

On identifie l’éclair à un courant électrique rectiligne. Par la loi d’Ampère ou empiriquement : un courant électrique rectiligne d’intensité I produit un champ magnétique d’intensité $B=\frac{\mu I}{2\pi r}$ à une distance r du courant.

Donc : $r=\frac{4\pi.10^{-7}20.10^{3}}{2\pi.0{,}5.10^{-4}}=80\,m.$

4 . Une particule chargée se déplace dans un champ magnétique uniforme perpendiculaire à sa vitesse et décrit une trajectoire fermée. Montrez que le temps mis par la particule pour parcourir un cycle est indépendant de sa vitesse. Précisez toutes les grandeurs que vous utilisez dans votre calcul.
(4 points)

Trajectoire parcourue : cercle de rayon R déterminé par l'intensité de la force centripète fournie par la force de Lorentz : $qvB=\frac{mv^2}{R}$ donc $R=\frac{mv}{qB}$.

Temps pour parcourir un cercle : $T=\frac{2\pi R}{v}=\frac{2\pi m}{qB}$; indépendant de v.

5. Expliquez le principe de fonctionnement d'un générateur de tension alternative. De quels paramètres dépend l'amplitude de la tension produite ?
(4 points)

Fonctionnement basé sur le phénomène d'induction.

Inducteur : (électro-)aimant produisant un champ magnétique, dont le flux variable va induire une force électromotrice alternative aux bornes de l'induit.

Induit : solénoïde dans lequel le flux du champ inducteur varie, ce qui produit une force électromotrice à ses bornes.

Par la loi de l'induction : $\epsilon = \frac{-d\varphi_B}{dt} = \epsilon_0 \cos(\omega t)$; où ω est la vitesse angulaire de l'inducteur. Plus le flux varie rapidement, plus l'amplitude ϵ_0 de la tension est élevée, donc : $\epsilon_0 \propto BS\omega$; où B est l'intensité du champ inducteur, S est la section de l'induit et ω est la vitesse angulaire de l'inducteur. Si l'induit a N spires en série : $\epsilon_0 \propto NBS\omega$.

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

SECTION (barrer la mention inutile)

Biologie **Géographie** **Géologie**

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 22 août 2013

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	**1**	*/4*	**2**	*/4*	**3**	*/4*	**4**	*/4*	**5**	*/4*

Note totale exercices : **/20**

1. Un condensateur plan est constitué d'un disque métallique de surface *S* recouvert d'un mince film isolant d'épaisseur *x*, et d'un deuxième disque métallique identique au premier, placé à une distance *x* au-dessus de l'isolant. Le diamètre des disques est grand par rapport à *x*. L'isolant a une permittivité relative ϵ_r , et l'air entre l'isolant et le deuxième disque a une permittivité ϵ_0 . Le condensateur porte une charge +*Q* sur le disque du dessus, et une charge (-*Q*) sur le disque du dessous.
a) Calculez l'expression des champs électriques dans l'air et dans l'isolant.
(2 points)
b) Calculez l'expression de la capacité de ce condensateur.
(2 points)

a) Intensité du champ dans un condensateur plan : $E=\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ dans l'air et $E=\frac{\sigma}{\epsilon_0\,\epsilon_r}$ dans l'isolant, où $\sigma=\frac{Q}{S}$ est la densité de charge sur les plaques. Le champ est dirigé de l'électrode positive vers l'électrode négative.

b) $C=Q/V$, donc calculons la différence de potentiel V entre les électrodes A et B. Le champ est constant dans l'air entre A et la surface de l'isolant I, et dans l'isolant entre I et B, donc :

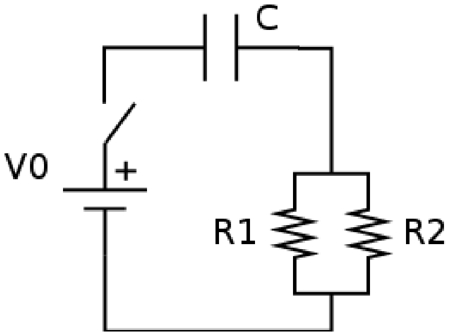
$$V=\int_A^I \vec{E}.\,d\vec{l}+\int_I^B \vec{E}.\,d\vec{l}=x\frac{\sigma}{\epsilon_0}+x\frac{\sigma}{\epsilon_0\,\epsilon_r}=x\frac{\sigma}{\epsilon_0}\left(\frac{\epsilon_r+1}{\epsilon_r}\right) \quad .$$

Donc :

$$C=\frac{\sigma\,S}{V}=\frac{\epsilon_0\,S}{x}\left(\frac{\epsilon_r}{\epsilon_r+1}\right).$$

Si l'isolant était de l'air, $\epsilon_r\simeq 1$ et on retrouverait l'expression de la capacité d'un condensateur plan d'épaisseur $2x$.

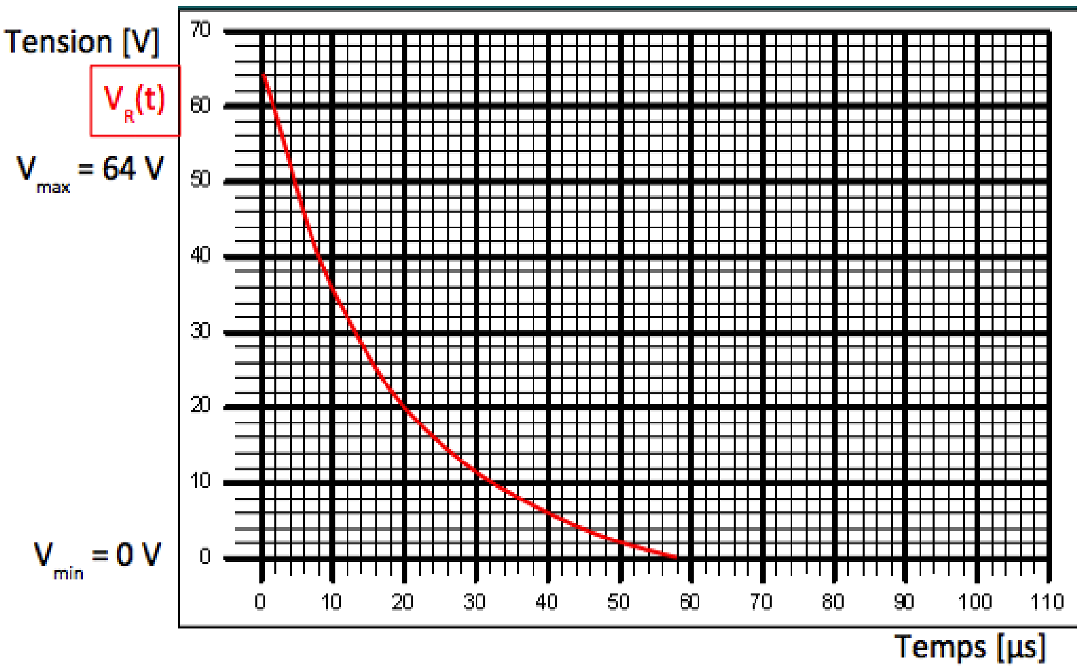
2. Une source de tension continue (V_0=64 V) est connectée au circuit représenté ci-dessous, composé d'une capacité (C=6,0 nanoFarads) et de deux résistances (R_1=12 kΩ, R_2=4,0 kΩ). A l'instant t=0 s, on ferme l'interrupteur.



a) Calculez le temps auquel la tension aux bornes des résistances vaut la moitié de la tension de la source.
(1 point)
b) Calculez et représentez sur le graphe le comportement de la tension aux bornes des résistances en fonction du temps, en indiquant les valeurs minimale et maximale de cette tension.
(3 points)

a) temps de demi-charge : $t_{1/2}=RC\ln 2$, où R est la résistance totale formée par R_1 et R_2, soit $R=\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)^{-1}=3\,k\,\Omega$. Donc $t_{1/2}$=12,5.10^{-6} s.

b) Exemple de calcul : le courant qui charge le condensateur se comporte comme :
$I(t)=\frac{V_0}{R}e^{-t/RC}$.
La tension au bornes des résistances en parallèle se comporte donc comme : $V_R(t)=RI(t)=V_0 e^{-t/RC}$.



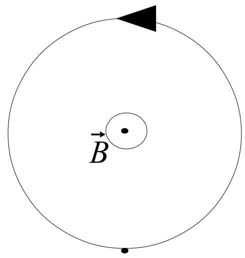
3. Une charge ponctuelle positive +*q* est déposée sur un disque isolant horizontal à une distance *r* du centre du disque. On fait tourner le disque à une grande vitesse de *N* tours par seconde dans le sens des aiguilles d'une montre. Calculez l'expression de l'intensité du champ magnétique au centre du disque, et indiquez sa direction sur un schéma.
(4 points)

La charge passe N fois par seconde par le même endroit, donc le courant électrique dû à la charge qui se déplace vaut : $I = qN$.

L'intensité du champ magnétique au centre d'une boucle de courant de rayon r s'exprime comme :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Donc : $B = \frac{\mu_0 qN}{2\pi r}$; dont la direction est représentée sur le schéma.



4. On fait circuler un courant sinusoïdal $I(t)=I_0\sin(2\pi f t)$ de 50 Hz de fréquence dans un solénoïde long comportant 60 spires par centimètre, enroulées autour d'un tube cylindrique creux. On place une petite spire de 11 cm² de section et une sonde à effet Hall au centre du solénoïde. La spire et la sonde sont orientées de façon que les effets du champ magnétique soient mesurés avec la plus grande sensibilité possible. Dans ces conditions, la sensibilité de la sonde est de 12 milliVolts par Tesla.
a) Calculez le rapport des amplitudes des tensions mesurées aux bornes de la spire et aux bornes de la sonde à effet Hall.
(3 points)
b) Le déphasage entre ces tensions vaut-il 0, $\pi/2$ ou π ? Justifiez.
(1 point)

a)

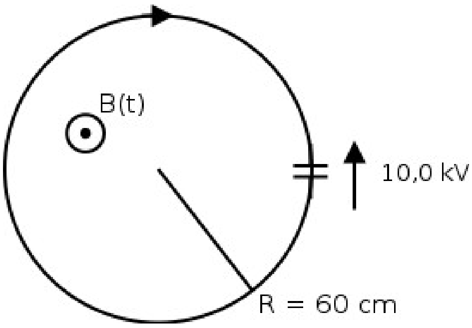
aux bornes de la spire : $\epsilon_S=\dfrac{-d(SB(t))}{dt}$ où S est la surface de la spire et *B(t)* est le champ au centre du solénoïde, $B(t)=\mu_0 n I_0\sin(2\pi f t)$, où n est le nombre de spires du solénoïde par mètre. Donc :
$\epsilon_S=-\mu_0 nSI_0 . 2\pi f.cos(2\pi f t)$, d'amplitude $\epsilon_{S,max}=\mu_0 nSI_0 . 2\pi f$

aux bornes de la sonde à effet Hall : la tension est directement proportionnelle à *B(t)*, avec un facteur de proportionnalité k = 12 mV/T. Donc :
$\epsilon_{H,max}=k\mu_0 n I_0$.

Le rapport des amplitudes vaut donc $\dfrac{\epsilon_{H,max}}{\epsilon_{S,max}}=\dfrac{k}{2\pi Sf}=3{,}5.10^{-2}$.

b) $\pi/2$ car la tension induite dans la spire s'obtient par $\epsilon_S(t)=\dfrac{-d(SB(t))}{dt}$ tandis que $\epsilon_H(t)$ est en phase avec *B(t)*.

5. Un proton est guidé par un champ magnétique uniforme de manière à circuler dans un tube circulaire de 60 cm de rayon. A chaque tour, le proton est accéléré tangentiellement par une différence de potentiel de 10,0 kV entre deux électrodes très proches l'une de l'autre. Juste après l'accélération, le champ magnétique est modifié de façon que le proton continue à circuler sur la même trajectoire. Quelle doit être la valeur du champ magnétique après 100 accélérations ? Négligez la vitesse initiale du proton ; prenez la masse du proton égale à $1,7.10^{-27}$ kg et sa charge, égale à $1,6.10^{-19}$ C.
(4 points)



On sait :

$$B=\frac{mv}{qR} \quad .$$

B augmente à chaque tour de sorte que le rayon *R* de la trajectoire reste constant :

L'énergie cinétique augmente à chaque tour selon : $E_{cin}=\frac{mv^2}{2}=N.q\Delta V$; o ù *N* est le nombre de tours déjà parcourus et ΔV est la tension accélératrice. Donc :

$$v=\sqrt{\frac{2\text{N.q}\Delta V}{m}}$$

Alors après 100 tours :

$$B=\frac{\sqrt{2\text{mN.}\Delta V}}{R\sqrt{q}}=\frac{\sqrt{2.1,7.10^{-27}.100.10.10^3}}{0,6.\sqrt{1,6.10^{-19}}}=0,24\,T \quad .$$