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

SECTION (barrer la mention inutile)

Biologie **Géographie** **Géologie**

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 5 juin 2013

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 y 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

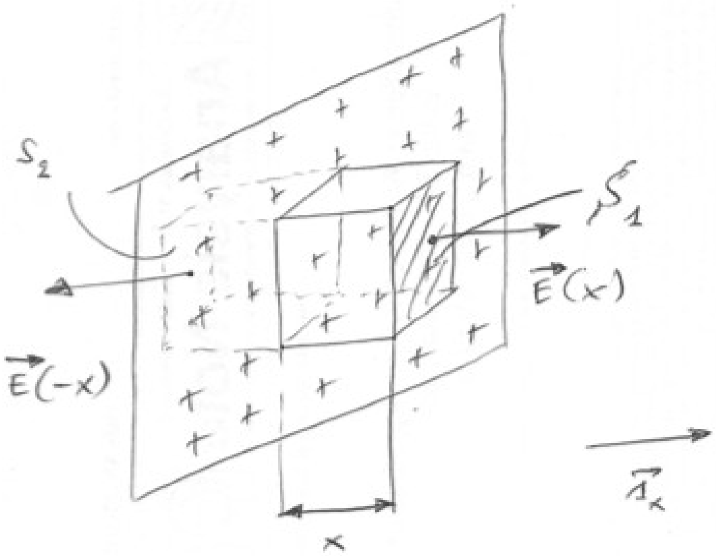
2. Donnez la définition, en précisant toutes les grandeurs qui interviennent, et donnez les unités dans le système international, de :
a) la capacité d'un système de deux conducteurs
b) la résistivité d'un matériau
c) le coefficient d'auto-induction (l'inductance) d'un solénoïde
(6 points)

a) $C=Q/V$, où $+Q$ est la charge portée par l'un des conducteurs et $-Q$ est la charge sur l'autre conducteur, et V est la différence de potentiel entre les deux conducteurs.
Unité : le Farad [F].

b) La résistivité ρ d'un matériau homogène est définie 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) L'inductance ou coefficient d'auto-induction L est défini par :
$\epsilon=-L\frac{dI(t)}{dt}$, où ϵ est la force électromotrice induite aux bornes d'un solénoïde parcouru par un courant $I(t)$ variable au cours du temps.
Unité : le Henry [H].

3. En appliquant la loi de Gauss, établissez l'expression du champ électrique à une distance *x* d'une plaque plane et infinie chargée uniformément par une densité de charge surfacique σ.
(3 points)



Loi de Gauss :

$$\int_S \vec{E}\,.\,d\vec{S} = \frac{Q_{tot}}{\epsilon}$$

Considérons la symétrie du problème. Le vecteur $\vec{E}(x)$ est dirigé perpendiculairement au plan de la plaque. Il est constant en tout point situé à la même distance x de ce plan. De plus, $\vec{E}(-x) = -\vec{E}(x) = -E(x).\,\vec{1}_x$ (les sens du champ sont opposés de part et d'autre du plan).

Choisissons, par exemple, une surface de Gauss comme dessinée sur la figure : un parallélépipède rectangle, dont 2 faces de surfaces $S_1 = S_2 = S$ sont parallèles au plan (perpendiculaires au champ électrique), et les 4 autres faces sont perpendiculaires au plan (parallèles au champ électrique).

Le flux du champ à travers la surface de Gauss s'exprime comme :

$$\int_S \vec{E}\,.\,d\vec{S} = E(x)\vec{1}_x.\,S_1\vec{1}_x + -E(x)\vec{1}_x.\,S_2(-\vec{1}_x) = 2.\,E(x).\,S.$$

La charge contenue dans la surface de Gauss s'exprime comme :

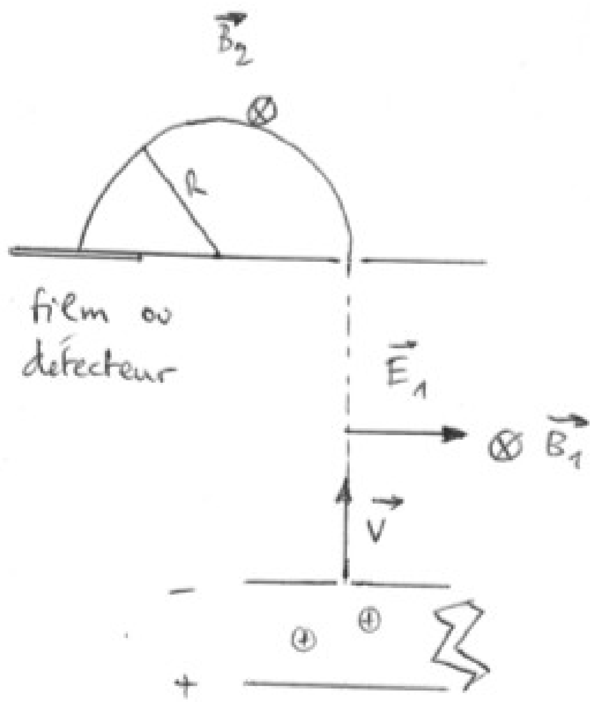
$$Q_{tot} = \sigma.\,S$$

Donc :

$$E(x) = \frac{\sigma}{2\epsilon}$$

qui ne dépend donc en fait pas de x.

4. Expliquez le principe 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 détecté alors à un endroit bien spécifique dépendant de sa masse.

5.
a) Un champ magnétique uniforme et constant au cours du temps peut-il changer l’énergie cinétique d'une particule chargée ? Expliquez.
(2 points)
b) Un champ magnétique variable au cours du temps peut-il changer l’énergie cinétique d'une particule chargée ? Expliquez.
(2 points)

a) Non : comme la force magnétique $\vec{F}_M = q\vec{v}\times\vec{B}$ est toujours perpendiculaire à la vitesse, elle ne peut pas augmenter la norme de celle-ci, seulement changer sa direction.

b) Oui : par la loi d'induction de Faraday, un champ magnétique variable au cours du champ induit un champ électrique qui peut accélérer les particules chargées.

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

SECTION (barrer la mention inutile)

Biologie **Géographie** **Géologie**

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 5 juin 2013

II. Exercices (20 points – 2 heures)

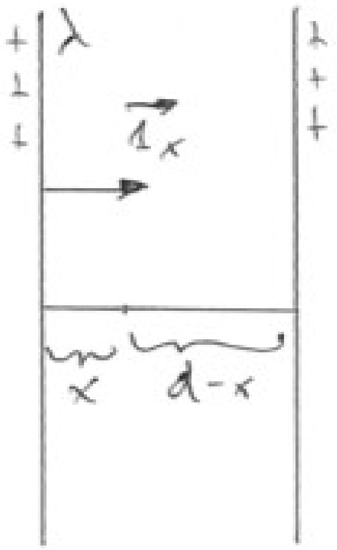
<u>Justifiez toujours vos réponses.</u>
(les simples affirmations du type oui / non ne sont pas prises en compte)

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

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

Note totale exercices : **/20**

1. Deux fils rectilignes parallèles suspendus verticalement dans le vide sont séparés d'une distance *d*. Ils sont tous deux chargés uniformément avec la même densité de charge linéique +λ. Etablissez l'expression de la force électrostatique qui s'exerce sur une charge +*q* placée entre les fils, à distance *x* de l'un d'eux et *(d-x)* de l'autre. Précisez la direction dans laquelle la force s'exerce.
(3 points)



L'intensité du champ électrostatique à une distance *x* d'un fil rectiligne uniformément chargé s'exprime comme :

$$E_1(x)=\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x}$$

La direction du champ est radiale autour du fil. Donc, entre les fils, le champ est dirigé selon le vecteur $\vec{1}_x$ qui pointe d'un fil à l'autre.

Idem pour l'autre fil, mais à l'endroit de la charge *q* les champs dus aux deux fils sont de sens opposés.

Champ total :

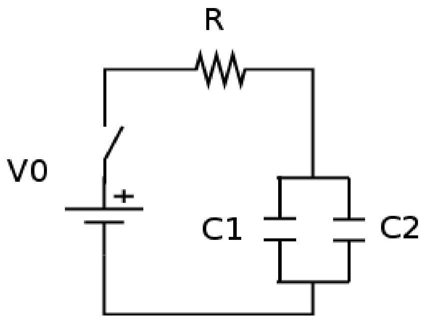
$$\overrightarrow{E(x)}=\overrightarrow{E_1(x)}+\overrightarrow{E_2(x)}=\left(\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x}-\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0(d-x)}\right)\vec{1}_x=\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0}\frac{d-2x}{x(d-x)}\vec{1}_x .$$

Donc la force électrostatique s'exprime comme :

$$\overrightarrow{F(x)}=q\,\overrightarrow{E(x)}=\frac{\lambda q}{2\pi\epsilon_0}\frac{d-2x}{x(d-x)}\vec{1}_x$$

dont le sens est selon $\vec{1}_x$ quand x < d/2, et selon $-\vec{1}_x$ quand x > d/2, ce qui est le comportement attendu.

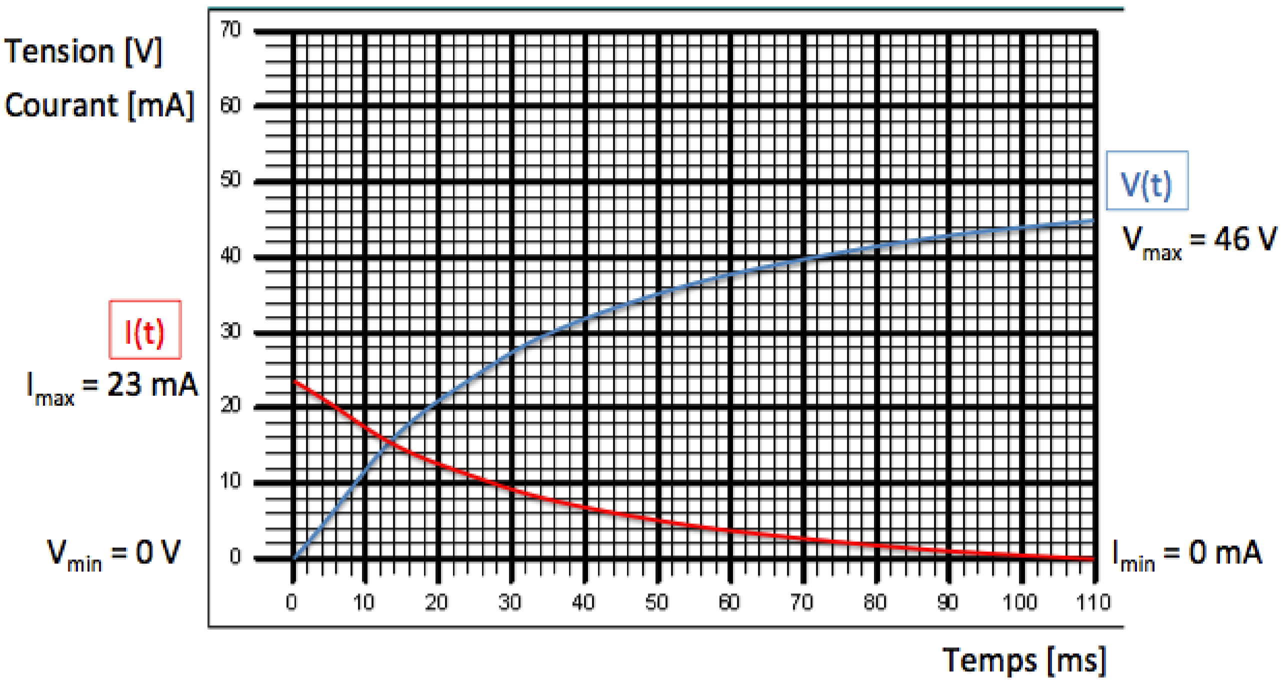
2. Une source de tension continue (V_0=46 V) est connectée au circuit représenté ci-dessous, composé d'une résistance (R=2,0 kΩ) et de deux capacités (C_1=6,5 µF ; C_2=11 µF). A l'instant t=0 s, on ferme l'interrupteur.



a) Calculez le temps auquel la tension aux bornes des capacités vaut la moitié de la tension de la source.
(1 point)
b) Représentez sur le graphe le comportement de la tension aux bornes des capacités en fonction du temps, en indiquant les valeurs minimale et maximale de cette tension.
(2 points)
c) Représentez sur le graphe le comportement du courant fourni par la source en fonction du temps, en indiquant les valeurs minimale et maximale de ce courant.
(2 points)

a) Les deux capacités sont en parallèle, donc elles d'additionnent : $C_{tot} = C_1+C_2 = 17{,}5.10^{-6}$ F. La moitié de la charge est atteinte après un temps $RC_{tot}.\ln(2)$ = 24 ms.

b) et c)



3. Un proton est éjecté par une éruption solaire. Il arrive, avec une vitesse de 0,022 fois la vitesse de la lumière, dans une région proche de la Terre où l'intensité du champ magnétique vaut $0{,}50.10^{-4}$ T. La direction du mouvement du proton fait un angle de 24° avec le champ magnétique. Calculez les paramètres de la trajectoire de ce proton, c'est-à-dire :
a) la composante de la vitesse parallèle au champ magnétique, en mètres/seconde ;
(1 point)
b) le rayon de la trajectoire dans la projection perpendiculaire au champ magnétique, en mètres.
(3 points)
Prenez la masse du proton m_p égale à $1{,}7.10^{-27}$ kg et la vitesse de la lumière $c = 3{,}0.10^{8}$ m/s.

a) $v_{paral} = v\cos\theta = 6{,}0.10^{6}$ m/s, où θ est l'angle entre le vecteur vitesse et le champ magnétique.

b) Dans la projection perpendiculaire au champ magnétique, la composante de la vitesse vaut :
$v_{perp} = v\sin\theta = 2{,}7.10^{6}$ m/s.

Le rayon de la trajectoire s'exprime comme :
$$R = \frac{m\,v_{perp}}{q\,B} = 5{,}7.10^{2} \text{ m.}$$

4. On fait circuler un courant croissant au cours du temps dans un solénoïde long. Celui-ci est constitué d'un bobinage qui comporte 200 spires de fil par centimètre, enroulées autour d'un tube cylindrique creux. Une petite spire carrée de 4,0 cm^2 de section est placée dans le tube, au milieu du solénoïde, perpendiculairement à l'axe de celui-ci. Que vaut la force électromotrice induite dans cette spire si le courant dans la bobine augmente de 9,0 Ampères par seconde ?
(4 points)

La f.e.m induite dans la spire s'exprime comme :
$\epsilon = \frac{-d\,\phi_B(t)}{dt}$, où $\phi_B(t)$ est le flux du champ magnétique à travers la surface de la spire.

Le flux vaut :
$\phi_B(t) = S.B(t)$, où S est la surface de la spire et *B(t),* le champ magnétique produit par le courant qui circule dans le solénoïde.

Le champ *B(t)* au centre du solénoïde se calcule comme :
$B(t) = n\mu_0 I(t)$; où n est le nombre de spires par unité de longueur, μ_0 est la perméabilité de l'air dans le solénoïde (~ celle du vide) et I(t) est le courant, variable au cours du temps.

Donc :
$$\epsilon = -Sn\mu_0 \frac{dI(t)}{dt} = 4.10^{-4}.\,200.10^{2}.\,4\pi.10^{-7}.\,9{,}0 = 90.10^{-6} \text{ Volts.}$$

5. On pompe une solution aqueuse d'ions Na^+ et Cl^- dans un tuyau cylindrique horizontal de 1,5 cm de diamètre. A la sortie du tuyau, à l'aide d'un électroaimant, on impose un champ magnétique horizontal perpendiculaire à la direction d'écoulement du liquide, d'une intensité de 0,7 Tesla. On mesure une différence de potentiel de 120 mV entre les bords inférieur et supérieur du tuyau. Quel est le débit de liquide dans le tube ?
(4 points)

Effet Hall : la différence de potentiel s'exprime comme :
$U = vBd$, où d est le diamètre du tuyau, et v est la vitesse de déplacement des ions.

Donc le débit s'exprime comme :
$$\phi = vS = \frac{U}{Bd} . \pi \frac{d^2}{4} = U \pi \frac{d}{4\mathrm{B}} = 120.10^{-3} . \pi . \frac{1{,}5.10^{-2}}{4.0{,}7} = 2{,}0.10^{-3} \quad \mathrm{m^3/s}.$$