

NOM, PRENOM (en majuscules)

SECTION (barrer les mentions inutiles)

Biologie

Géographie

Géologie

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 3 juin 2011

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

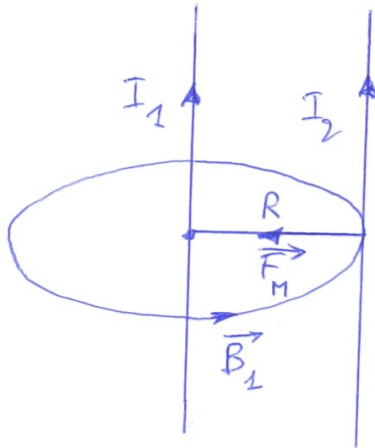
- en unités du Système international ;
- avec la précision adéquate, sous peine d'être considérés comme incorrects.

Note théorie :

/20

1. Donnez et expliquez la définition pratique de l'unité de courant électrique dans le système international de mesures (4 points).

L'unité de courant dans le S.I. est l'ampère [A]. Sa définition pratique est basée sur la force magnétique qu'exercent les courants électriques les uns sur les autres :



Deux conducteurs rectilignes distants de R ; champ magnétique induit par le courant I_1 à l'endroit du conducteur parcouru par I_2 :

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi R}$$

Force magnétique exercée par B_1 sur une longueur l de conducteur parcouru par I_2 :

$$F = B_1 I_2 l = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi R}$$

Si $I_1 = I_2 = 1$ A et $R=1$ m, alors par mètre de longueur de fil ($l=1$ m) la force magnétique vaut :

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{2\pi \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

→ définition de l'ampère : c'est l'intensité du courant qui, circulant dans deux conducteurs rectilignes distants de 1 m dans le vide, provoque une force magnétique de $2 \cdot 10^{-7}$ N par mètre de conducteur.

2. Énoncez la loi d'Ampère en définissant toutes les grandeurs qui interviennent et leurs unités dans le système international. Appliquez-la au calcul du champ magnétique dans un solénoïde long fait d'un bobinage de rayon R et de n spires par mètre (6 points).

Loi d'Ampère : $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \sum I$;

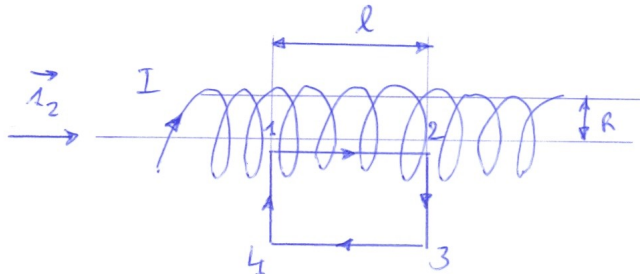
\vec{B} : champ magnétique; unité: le Tesla [T]

$d\vec{l}$: élément de parcours fermé; unité: le mètre [m]

μ : perméabilité du milieu [T.m/A]

$\sum I$: somme des courants électriques enfermés dans le parcours fermé; unité: l'ampère [A]

Champ magnétique dans un solénoïde long parcouru par un courant I :



Par symétrie dans la direction de l'axe, le champ à l'intérieur est parallèle à l'axe du solénoïde. Comme le solénoïde est long, le champ à l'extérieur est négligeable.

On choisit un parcours fermé 12341 de côté l parallèle à l'axe. Seule l'intégrale sur le segment 12 contribue (segments 23 et 41: champ perpendiculaire au segment dans le solénoïde et négligeable hors du solénoïde; segment 34: champ négligeable). Donc:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_1^2 \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot l$$

D'autre part, le parcours fermé enferme n.l spires donc:

$$\mu \sum I = \mu \cdot n \cdot l \cdot I$$

Donc:

$$B = \mu \cdot n \cdot I$$

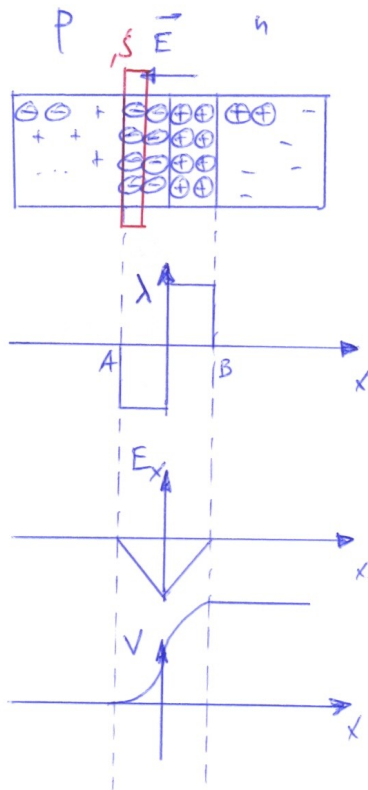
3. Expliquez le principe de fonctionnement de la diode semi-conductrice (3 points).

La diode semi-conductrice est formée par la jonction de deux semi-conducteurs dopés différemment, p et n, et qui ne laisse passer le courant que lorsque le côté p est porté à un potentiel positif par rapport au côté n (différence de potentiel $\sim 0,6$ V pour une diode au silicium).

Côté p : impuretés acceptées d'électrons, charges mobiles = trous de charge positive, charges fixes négatives ;

Côté n : impuretés donneuses d'électrons, charges mobiles = électrons, charges fixes positives.

Une fois les deux semi-conducteurs accolés, une zone sans porteurs mobiles se forme, et les charges fixes créent un champ électrique dirigé depuis le côté n vers le côté p.



\oplus, \ominus : charges fixes
 $+, -$: charges mobile

Une différence de potentiel apparaît entre le côté p et le côté n, positive du côté des charges fixes positives (côté n).

Pour qu'un courant circule, il faut rendre possible le passage des porteurs de charge mobiles au travers de la jonction en contrecarrant cette d.d.p. → en appliquant une tension positive du côté p.

$$\int \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{\sum q}{\epsilon}$$

$$E = - \frac{dV}{dx}$$

4. Expliquez pourquoi une partie du rayonnement cosmique est piégé dans le champ magnétique de la Terre (3 points).

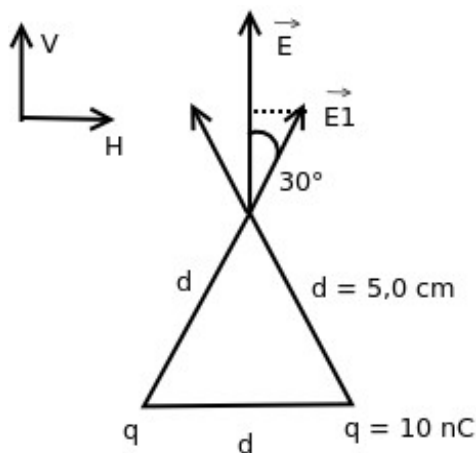
Les particules chargées du rayonnement cosmique (protons, électrons, noyaux d'hélium...) subissent une force magnétique

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$$

lorsqu'elles entrent dans le champ magnétique terrestre.

Leur mouvement a deux composantes : une rotation autour des lignes de champ (F perpendiculaire à B), et une translation dans la direction parallèle au champ. Elles décrivent alors des trajectoires en spirale autour des lignes de champ. Les lignes de champ se resserrent vers les pôles, le champ augmente, et le dipôle magnétique formé par la boucle de courant lié à la particule subit alors une force magnétique répulsive → mouvements de va et vient entre les pôles (confinement magnétique).

5. Deux charges ponctuelles positives de 10 nC sont distantes de 5,0 cm. Calculez le champ électrique en un point situé à 5,0 cm de chacune d'elles (prenez $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$) (4 points).



Les champs dûs aux deux charges s'additionnent vectoriellement. Les composantes horizontales s'annulent. Les composantes verticales s'additionnent.

$$\vec{E} = E \cdot \vec{1}_V = 2 \cdot E_1 \cos 30^\circ \vec{1}_V.$$

D'autre part la norme du champ électrique E_1 vaut :

$$E_1 = \frac{kq}{d^2} = \frac{9,0 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-9}}{0,05^2} = 36000 \text{ V/m}.$$

Le champ total vaut donc :

$$\vec{E} = 2 \cdot 36000 \cdot \cos 30^\circ \cdot \vec{1}_V = 62 \cdot 10^3 \text{ V/m} \cdot \vec{1}_V.$$

NOM, PRENOM (en majuscules)

SECTION (barrer les mentions inutiles)

Biologie

Géographie

Géologie

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 3 juin 2011

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 (/ 05)

1

2

3

4

Note totale exercices :

/20

1. Une tension de 10 kV est appliquée entre deux plaques conductrices parallèles de forme carrée, de 2,0x2,0 cm² de surface et séparées de 0,50 mm, par un générateur dont la résistance interne est de 10 kOhm. Le champ électrique entre les plaques dépasse-t-il le champ de claquage de l'air entre les plaques = 36 kV/cm et si oui, après combien de temps ?

Valeur du champ électrique :

Plaques parallèles assimilables à un condensateur plan de surface 4 cm² et de distance entre électrodes d = 0,5 mm → champ électrique uniforme entre les plaques $E = V/d$ où V est la différence de potentiel entre les plaques.

Sous une tension de 10 kV, $E = 10 \text{ kV} / 5 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 20 \text{ MV/m} > 3,6 \text{ MV/m} \rightarrow$ oui.

Temps pour atteindre ce champ :

Circuit RC de résistance $R = 10 \text{ kOhm}$ et de capacité $C = \epsilon_0 \cdot S/d = 8,85 \cdot 10^{-12} \times 4 \cdot 10^{-4} / 5 \cdot 10^{-4} = 7,1 \cdot 10^{-12} \text{ F}$.

$V(t)$ aux bornes du condensateur: $V(t) = V_0 \cdot (1 - e^{-t/RC})$; $V_0 = 10 \text{ kV}$.

Claquage lorsque $E(t) = E_{\text{claquage}} = V_0/d \cdot (1 - e^{-t/RC})$

donc $1 - e^{-t/RC} = E_{\text{claquage}} \cdot d / V_0$

donc $t = -RC \cdot \ln(1 - E_{\text{claquage}} \cdot d / V_0) = -10^4 \times 7,1 \cdot 10^{-12} \times \ln(1 - 3,6 \cdot 10^6 \times 5 \cdot 10^{-4} / 10^4) = 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ s}$.

2. Un générateur de tension alternative est suivi d'un redresseur sans perte qui maintient la tension à la valeur maximum de la tension du générateur. Il fournit une puissance électrique de 0,81 Watts à une ampoule électrique de résistance 100 Ohm. Le générateur est constitué d'une bobine serrée rectangulaire de 100 tours, de longueur et de largeur 2,0 cm, qui tourne dans un champ magnétique uniforme de 0,70 T perpendiculaire à l'axe de la bobine. Quelle est la vitesse de rotation de la bobine ?

La bobine doit tourner de façon que la f.é.m. induite fournisse une tension suffisante à l'ampoule. Comme $P = \epsilon^2/R$ cette tension vaut :

$$\epsilon = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{0,81 \cdot 100} = 9 \text{ Volts.}$$

La f.é.m. induite aux bornes de la bobine s'exprime comme :

$$\epsilon = NSB\omega \sin(\omega t),$$

où S est la surface des spires de la bobine.

La f.é.m. est redressée à sa valeur maximale qui vaut :

$$\epsilon_{\text{max}} = NSB\omega.$$

Donc la vitesse de rotation de la bobine est :

$$\omega = \frac{\epsilon}{NSB} = \frac{9}{100 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,70} = 321 \text{ radians/s} = 51 \text{ tours/s.}$$

3. Un proton et un atome d'hélium doublement ionisé au repos sont soumis à une différence de potentiel de 10 kV puis sont envoyés dans une région où règne un champ magnétique uniforme. Calculez le rapport des rayons de leurs trajectoires.

Le rayon de la trajectoire est :

$$R = \frac{mv}{qB}$$

Bilan d'énergie : l'énergie cinétique de l'une ou l'autre particule $E_{\text{cin}} = \frac{1}{2}mv^2 = qV$ donc :
 $v = \sqrt{2qV/m}$.

Le rayon de la trajectoire du proton vaut donc :

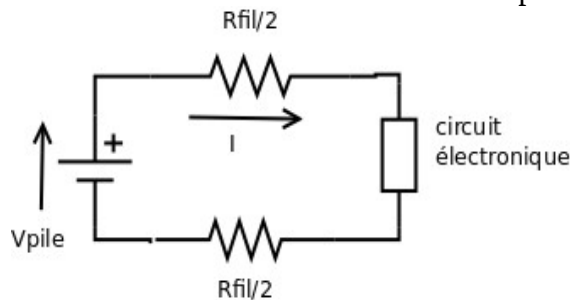
$$R_p = \frac{1}{B} \sqrt{2m_p V / q_p}$$

et le rapport des rayons des trajectoires vaut :

$$R_p / R_{\text{He}} = \sqrt{\frac{m_p}{m_{\text{He}}} \cdot \frac{q_{\text{He}}}{q_p}} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot 2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

4. Une pile qui fournit une différence de potentiel de 100 mV alimente un circuit électronique qui consomme 10,0 mWatts. Les bornes de la pile et du circuit sont connectées par deux fils de cuivre identiques de 2,15 m de longueur et de résistivité $1,70 \cdot 10^{-8}$ Ohm.m. Quel doit être le diamètre des fils pour que la puissance dissipée dans les fils soit inférieure à 1% de la puissance utile ?

Le fil qui connecte les bornes (+), le circuit électronique et le fil qui connecte les bornes (-) sont connectés en série et sont traversés par le même courant I.



$$\text{Puissance dissipée : } P_{\text{dis}} = R_{\text{fil}} \cdot I^2$$

$$R_{\text{fil}} = \rho \cdot L / S, \text{ où } L = 2 \times 2,15 \text{ m} = 4,30 \text{ m}$$

$$\text{Puissance fournie par la pile : } P_{\text{pile}} = P_{\text{utile}} + P_{\text{dis}} = 1,01 \cdot P_{\text{utile}} = 0,0101 \text{ Watts} = V_{\text{pile}} \cdot I$$

$$\text{Donc } I = 0,101 \text{ A}$$

$$R_{\text{fil}} = 0,01 \cdot P_{\text{utile}} / I^2 = 9,803 \cdot 10^{-3} \text{ Ohm}$$

La section des fils doit donc valoir :

$$S = \rho \cdot L / R_{\text{fil}} = 1,7 \cdot 10^{-8} \times 4,30 / 9,803 \cdot 10^{-3} = 7,46 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\text{Et le diamètre des fils doit donc valoir } d = 3,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$