

NOM, PRENOM (en majuscules)

SECTION (entourez votre section)

Biologie

Géographie

Géologie

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 20 janvier 2017

I. Théorie (20 points – 1 heure)

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. Appliquez-la au calcul du champ magnétique à l'intérieur d'un solénoïde long parcouru par un courant électrique constant.

(6 points)

Loi d'Ampère :

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

avec :

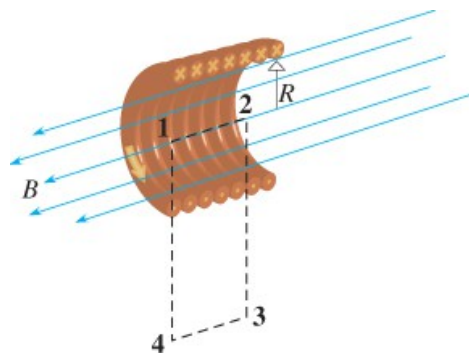
\vec{B} : champ magnétique

$d\vec{l}$: élément de parcours fermé

μ : perméabilité du milieu

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

Calcul du champ magnétique dans un solénoïde long parcouru par un courant I : considérons une petite partie d'un solénoïde comportant n spires par mètre :



On choisit un chemin fermé rectangulaire 14321, avec un côté 21 parallèle à l'axe, de longueur l , et un côté 14 perpendiculaire à l'axe. Seule l'intégrale sur le segment 21 contribue (segments 14 et 32: champ perpendiculaire au segment dans le solénoïde et négligeable hors du

solénoïde long; segment 43: champ négligeable hors du solénoïde long). Donc:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_2^1 \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot l$$

D'autre part, le chemin fermé enferme $n \cdot l$ spires dont les courants doivent être comptés positivement (ils génèrent un champ dans le sens du parcours 14321):

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

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

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

a) susceptibilité magnétique d'un matériau

b) moment dipolaire magnétique d'une boucle de courant

c) matériau ohmique

(3 points)

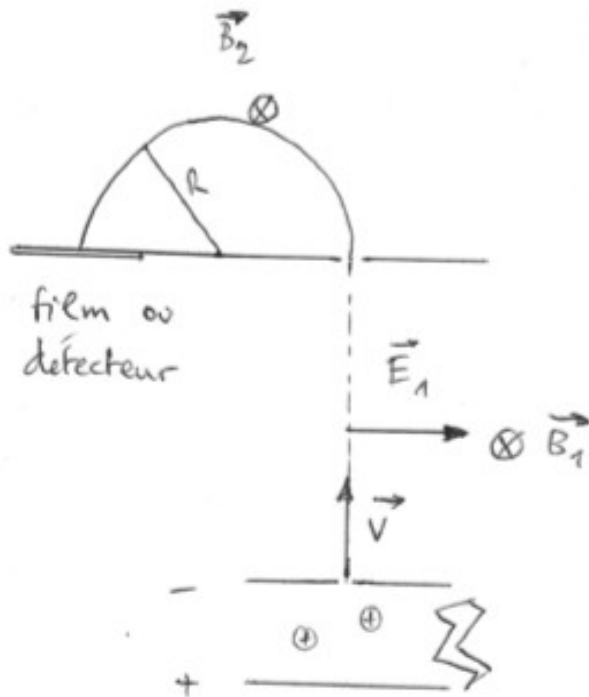
a) Le champ magnétique dans le matériau peut s'exprimer comme : $\vec{B}=(1+\chi)\vec{B}_0$, où \vec{B}_0 est le champ magnétique dans le vide et χ est la susceptibilité magnétique.

b) $\vec{\mu}=I \cdot S \cdot \vec{1}_S$, où I est le courant qui circule dans la boucle, S est la surface encerclée par la boucle, et $\vec{1}_S$ est un vecteur perpendiculaire à S , dont le sens positif est donné par la règle de la main droite (pouce dans la direction du courant I), c.à.d. dans le sens du champ magnétique produit par le courant.

c) matériau qui satisfait à la loi d'Ohm : $\Delta V=RI$, où ΔV est la ddp aux bornes du matériau, I est le courant qui le traverse et R est une constante.

3. Expliquez le 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

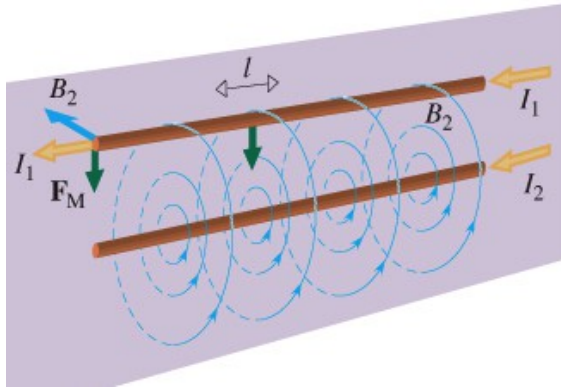
$\vec{F} = q\vec{E}_1 + q\vec{v} \times \vec{B}_1$ est nulle poursuivent en ligne droite, soit ceux dont la norme de

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.

**4. Etablissez (démontrez) la définition de l'ampère qui fait appel aux forces magnétiques, en précisant toutes les grandeurs que vous introduisez.
(4 points)**



Pour deux conducteurs rectilignes parallèles distants de R dans le vide, le champ magnétique produit par le courant I_2 à l'endroit du conducteur parcouru par I_1 vaut :

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi R}$$

La force magnétique exercée par B_2 sur une longueur L de conducteur parcouru par I_1 vaut :

$$F = B_2 \cdot I_1 \cdot L$$

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

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{2\pi \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

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

5. Énoncez la loi de Gauss de l'électrostatique, en précisant toutes les grandeurs que vous introduisez.
(3 points)

Loi de Gauss :

$$\int \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum Q_i}{\epsilon_0} ,$$

où :

$\int \vec{E} \cdot d\vec{S}$ est le flux du champ électrique à travers une surface fermée (surface de Gauss),
 $\sum Q_i$ est la somme algébrique des charges enfermées dans la surface de Gauss (la charge nette) et ϵ_0 est la permittivité du vide.

NOM, PRENOM (en majuscules)

SECTION (entourez votre section)

Biologie

Géographie

Géologie

PHYS-F-205

Physique 2

Examen du 20 janvier 2017

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	1	/4	2	/5	3	/3	4	/4	5	/4
-----------	---	----	---	----	---	----	---	----	---	----

Note totale exercices : /20

1. Deux plaques conductrices carrées parallèles de $9,0 \text{ cm}^2$ de surface sont séparées par une mince feuille de plastique isolant, de permittivité relative égale à 3,8 et dont la limite de claquage est très élevée, $300 \cdot 10^6 \text{ V/m}$. On augmente progressivement la tension entre ces plaques jusqu'à atteindre le champ de claquage de l'isolant. A ce moment, une étincelle traverse l'isolant. Quelle est la charge qui est passée d'une plaque à l'autre si l'étincelle a complètement déchargé les plaques ?

(4 points)

Les 2 plaques forment un condensateur; notons C sa capacité:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} \quad \text{où } \epsilon_0 \epsilon_r \text{ est la permittivité du diélectrique, } S \text{ la surface des plaques et } d \text{ la}$$

distance entre elles c'est-à-dire l'épaisseur de la feuille d'isolant.

Sous une tension V , la charge sur la plaque positive est $Q = C \cdot V$ et le champ électrique dans le condensateur vaut, en norme, $E = V/d$ (le champ est quasi-uniforme car la feuille d'isolant est mince).

$$\text{Donc: } Q = C \cdot E \cdot d = \epsilon_0 \epsilon_r S \cdot E = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3,8 \cdot 9,0 \cdot 10^{-4} \cdot 300 \cdot 10^6 = 9,1 \cdot 10^{-6} [\text{Coulombs}]$$

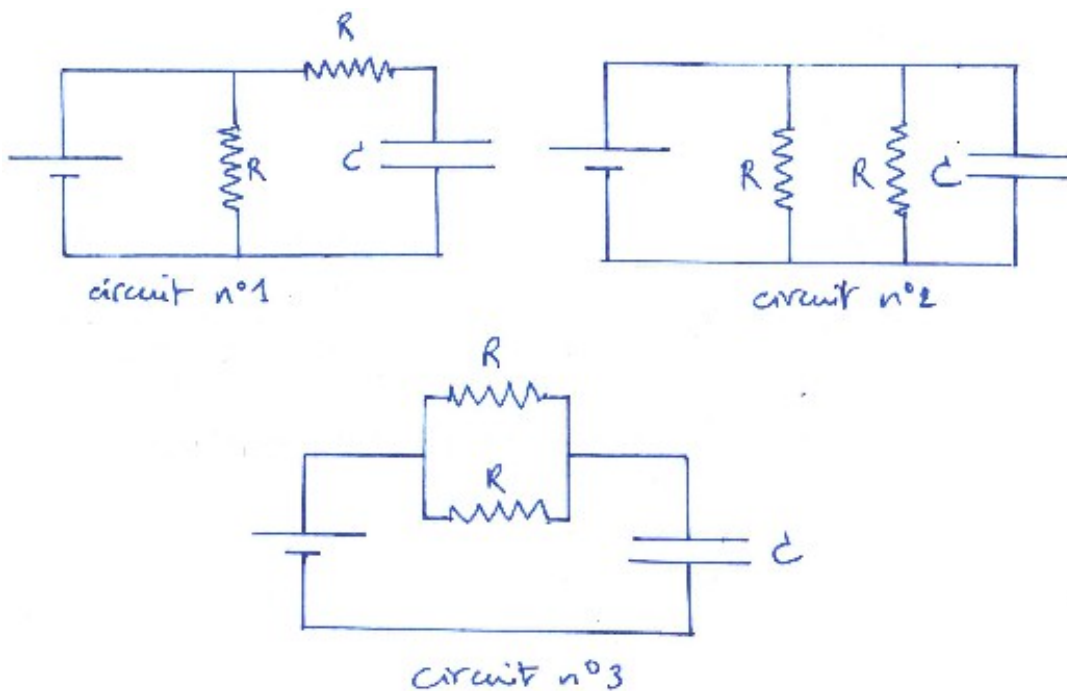
2. Considérez les trois circuits suivants, constitués de deux résistances de $1,0\text{k}\Omega$, d'une capacité de 45nF et d'une source de tension continue.

a) Dans quel(s) circuit(s) la tension aux bornes de la capacité est-elle égale à la tension aux bornes de la source au moment où la capacité est chargée au maximum ? Justifiez dans chaque cas s'il y en a plusieurs.

b) Dans quel(s) circuit(s) le courant fourni par la source est-il nul au moment où la capacité est chargée au maximum ? Justifiez dans chaque cas s'il y en a plusieurs.

c) Dans le circuit numéro 3, combien de temps faut-il attendre après le raccordement de la source pour que la charge de la capacité soit la moitié de la valeur maximale ?

(5 points)



a) dans les 3 circuits. Dans les circuits 1 et 3, lorsque C est complètement chargée, il n'y a plus de courant dans la résistance qui la raccorde à la source, donc pas de chute de potentiel dans cette résistance. Dans le circuit 2, C est directement branchée à la source et la tension entre ses bornes est donc toujours égale à celle de la source.

b) dans le circuit n0.3 car $V_C =$ tension aux bornes de la source.

c) Expression de la tension aux bornes de C : $V_C(t) = V_0[1 - e^{-t/\tau}]$, où V_0 est la tension aux bornes de la source et τ est la constante de temps du circuit comportant 2 résistances en parallèle (résistance équivalente $R/2$).

La capacité est à moitié chargée pour $1 - e^{-t/\tau} = 1/2$,

donc pour $t = \tau \ln(2) = \frac{R}{2} C \ln(2) = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ s}$.

3. On pompe une solution aqueuse de NaCl dans un tuyau horizontal de 1,2 cm de diamètre. On place un aimant qui produit un champ magnétique horizontal perpendiculaire au tuyau, de 0,40 Tesla d'intensité. On mesure alors une différence de potentiel de 1,2 mV entre le dessus et le dessous du tuyau.

a) Quel est le débit de solution qui traverse le tuyau ?

(2 points)

b) Dessinez un schéma des forces qui agissent sur les ions Na^+ et Cl^- à l'équilibre.

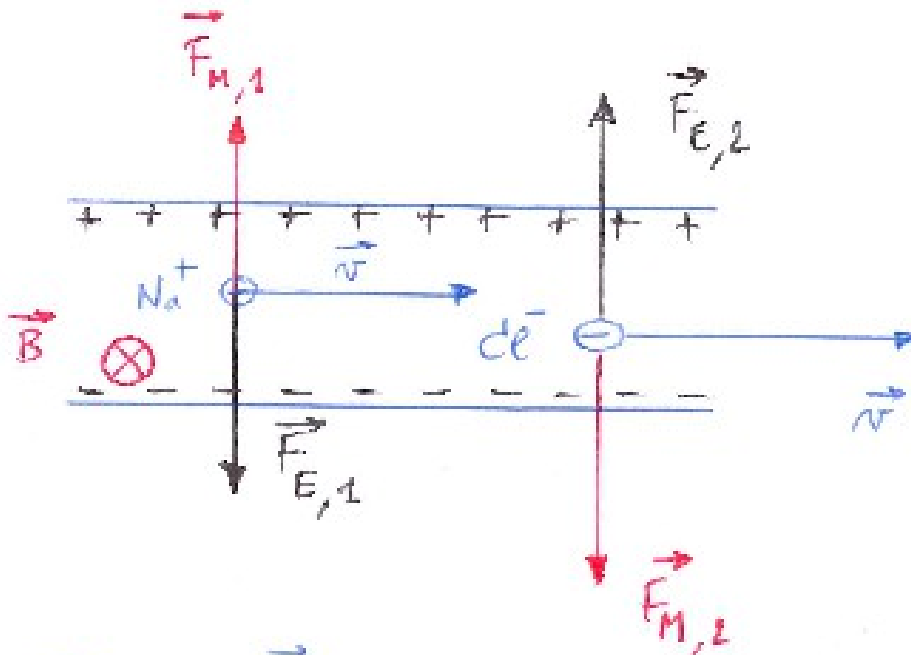
(1 point)

a) Débit : $\phi = v \cdot S$, où v est la vitesse du fluide, et S la section du tuyau.

Comme le champ magnétique \vec{B} est perpendiculaire à la vitesse du fluide \vec{v} , la tension de Hall s'exprime comme : $V = v \cdot B \cdot d$, où d est le diamètre du tuyau.

$$\text{Donc : } \phi = \frac{V}{B \cdot d} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{V}{B} \cdot \frac{\pi d}{4} = 28 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = 28 \text{ ml/s}.$$

b)



Note :

$$\vec{F}_{M,1} = -\vec{F}_{E,1}$$

$$\vec{F}_{M,2} = -\vec{F}_{E,2}$$

$$\text{et comme } q_{\text{Na}^+} = -q_{\text{Cl}^-}, \quad \vec{F}_{M,1} = -\vec{F}_{M,2}$$

4. Un générateur de tension alternative comporte un cadre carré de 100 cm^2 de surface autour duquel sont bobinées 80 spires serrées de fil conducteur. Le cadre tourne à vitesse constante autour d'un axe horizontal, et est plongé dans un champ magnétique uniforme de 0,74 Tesla, perpendiculaire à l'axe de rotation du cadre. Le générateur est raccordé à une résistance de 100Ω qui dissipe une puissance moyenne de 44W par effet Joule. Quelle est la vitesse de rotation du cadre ?
(4 points)

Ce générateur produit une tension alternative sinusoïdale, dont l'amplitude a pour expression $V_0 = NBS\omega$, où N est le nombre de spires, S la surface des spires et ω la vitesse angulaire.

La puissance moyenne dissipée dans la résistance R s'exprime à partir de la tension efficace comme: $P = \frac{V_{eff}^2}{R}$, et pour une tension sinusoïdale: $V_{eff} = V_0/\sqrt{2}$ donc $V_0 = \sqrt{2PR}$.

$$\text{Donc } \omega = \frac{\sqrt{2PR}}{NBS} = \frac{\sqrt{2 \cdot 44 \cdot 100}}{80 \cdot 0,74 \cdot 100 \cdot 10^{-4}} = 1,6 \cdot 10^2 \text{ radians/s.}$$

5. Supposons qu'une éruption solaire émette vers la Terre des noyaux d'hélium complètement ionisés (${}^4\text{He}^{++}$) avec une énergie cinétique de 10 MeV (10 méga-électronVolts). Calculez le rayon de la trajectoire de ces noyaux lorsqu'ils arrivent dans une zone de l'espace où le champ magnétique terrestre est perpendiculaire à leur direction incidente, et où l'intensité du champ vaut $1,0 \cdot 10^{-5}$ Tesla. La masse des noyaux d'hélium est de $6,8 \cdot 10^{-27}$ kg.

(4 points)

Le rayon de la trajectoire dépend de la quantité de mouvement mv de la particule chargée:

$R = \frac{mv}{qB}$, où q est la charge et B l'intensité de la composante du champ magnétique perpendiculaire à la vitesse.

On donne: $E_{cin} = \frac{1}{2}mv^2 = 10 \cdot 10^6 \text{ eV} = 10 \cdot 10^6 q_e \text{ Joules}$, où q_e est la charge de l'électron en valeur absolue.

Donc:

$$R = \frac{m}{qB} \cdot \sqrt{2E/m} = \frac{\sqrt{2Em}}{2q_e B} = \frac{\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,8 \cdot 10^{-27}}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-5}} = 46 \text{ km}.$$