Deuxième Année — Année scolaire 2005/2006

PHYSIQUE
Interrogation n°2

Mercredi 16 Novembre 2005 — **Durée : 1h30**

Barême approximatif : Questions de cours : 6pts ; Exercice I : 8,5pts ; Exercice II : 5,5pts

Questions de cours (Lanière K) :

1. Fonctionnement du transformateur (3 pts)

a) Expliquez le fonctionnement du transformateur en décrivant avec précision tous les phénomènes physiques mis en jeu .
Donnez des explications claires et concises en vous appuyant sur un schéma.

b) De quels paramètres dépend le coefficient de transformation $\frac{U_{eff,sortie}}{U_{eff,entrée}}$?
Justifiez votre réponse avec le minimum de calculs.

2. Principales applications des matériaux ferromagnétiques (1,5 pts)

En dehors de la réalisation de circuits magnétiques, citez trois exemples d'utilisation des composés ferromagnétiques.

3. Phénomène de propagation en électromagnétisme (1,5 pts)

a) En quoi consiste ce phénomène? (2 lignes)
b) Pourquoi peut-on le négliger en régime lentement variable?

Exercice I : Milieux magnétiques

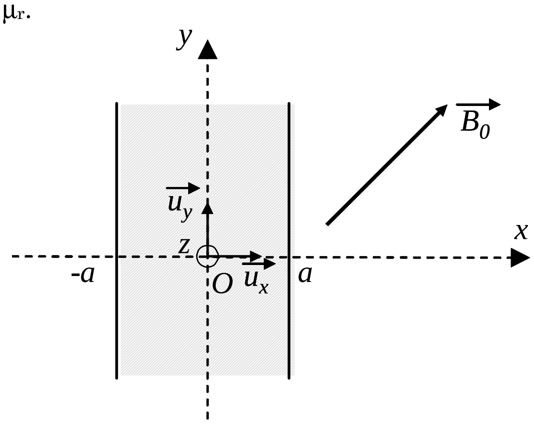
Dans un espace vide, rapporté au repère orthonormé $(O,\vec{u}_x,\vec{u}_y,\vec{u}_z)$ défini sur la figure 1, un système extérieur crée un champ magnétique uniforme $\vec{B}_{app}$. On introduit dans cet espace une lame à faces parallèles d'épaisseur 2a, de dimensions infinies (selon Oy et Oz) et constituée d'un matériau magnétique parfait, de perméabilité magnétique relative μ_r.

Dans un premier temps, on admettra que le champ magnétique $\vec{B}_0$ total de part et d'autre de la lame (x < -a et x > a) est uniforme et de la forme :

$$\vec{B}_0 = B_{0x}\vec{u}_x + B_{0y}\vec{u}_y$$

B_{0x} et B_{0y} étant des constantes positives.

A l'intérieur du milieu magnétique, le champ et l'excitation magnétiques sont notés respectivement $\vec{B}$ et $\vec{H}$. On supposera que $\vec{B}$ et $\vec{H}$ sont également <u>uniformes</u>.



<u>Figure 1</u>

1 - A l'aide des relations de passage, calculer les composantes (B_x, B_y, B_z) et (H_x, H_y, H_z) de $\vec{B}$ et $\vec{H}$ respectivement. En déduire l'aimantation $\vec{M}$ de la lame. Les résultats seront exprimés en fonction de B_{0x}, B_{0y}, μ_r, et μ_0.

2 - On prend <u>$B_{0x}=B_{0y}$</u>.

a) Faire un schéma (soigné et précis) représentant les vecteurs $\vec{B}_0$, $\mu_0\vec{M}$ et $\vec{B}$ avec $\mu_r = 2$.

b) Faire un second schéma pour $\mu_r = 0,5$.
A quel type de milieu magnétique correspondent les 2 cas, $\mu_r = 2$ et $\mu_r = 0,5$. Justifier vos réponses.

3- a) Pour une valeur de μ_r quelconque, déterminer les expressions des densités de courants de magnétisation équivalents à la lame aimantée.

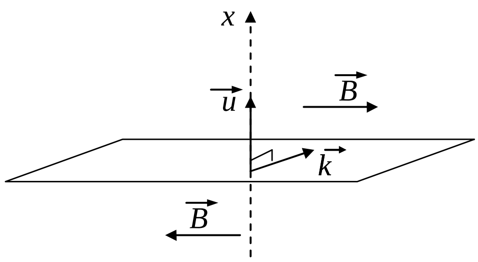
b) Déterminer le champ magnétique B' créé par la lame, à l'extérieur de la lame (voir rappel ci-dessous). Comparer alors $\vec{B}_{app}$ et $\vec{B}_0$. Conclusion.

<u>Rappel</u> : On rappelle que le champ $\vec{B}$ créé, dans le vide, par une nappe plane de dimensions infinies, parcourue par des courants surfaciques de densité uniforme $\vec{k}$, est donné par :

x > 0 $\quad \vec{B} = \frac{1}{2}\mu_0 \vec{k} \wedge \vec{u}$

x < 0 $\quad \vec{B} = -\frac{1}{2}\mu_0 \vec{k} \wedge \vec{u}$

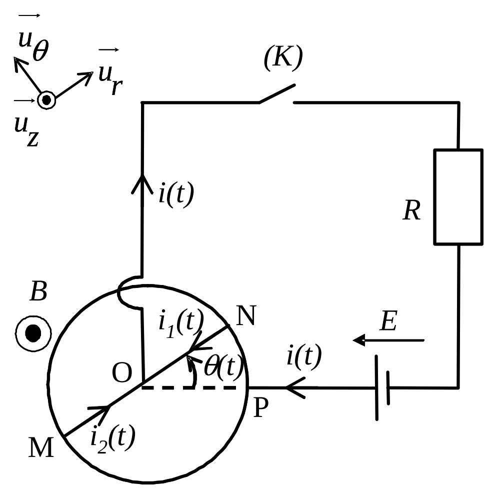
$\vec{u}$ étant le vecteur unitaire de l'axe Ox perpendiculaire à la nappe (figure 2).



<u>Figure 2</u>

Exercice II : Forces de Laplace et Induction électromagnétique

On se place dans un système de coordonnées cylindriques $(O, \vec{u}_r, \vec{u}_\theta, \vec{u}_z)$ défini sur la figure 3.
Une tige métallique MN, de longueur $2a$ et de résistance ohmique $2r$, est mobile autour de l'axe (Oz). Les extrémités M et N de la tige glissent sur une spire circulaire rigide et fixe, conductrice, de résistance ohmique négligeable.
L'ensemble {tige MN et spire} est relié (points O et P) à un circuit contenant un interrupteur (*K*), une résistance *R* et un générateur de tension continue *E* (figure 3).
L'ensemble est placé dans un champ magnétique uniforme $\vec{B} = B\,\vec{u}_z$ (*B* étant une constante positive).



<u>Figure 3</u>

A l'instant $t = 0$, la tige est immobile dans la position $\theta = 0$ et on ferme l'interrupteur (*K*). Un courant *i(t)* > 0 apparaît alors dans le circuit. On admettra que *i(t)* se divise en deux courants $i_1(t)$ et $i_2(t)$ positifs traversant respectivement les branches NO et MO (figure 3), tels que $\boxed{i_1(t) = i_2(t) = \frac{i(t)}{2}}$.

Les questions 1) et 2) peuvent être traitées indépendamment.

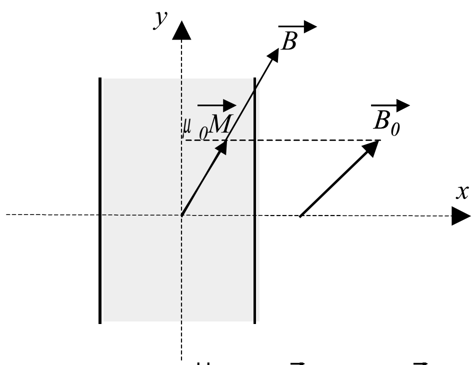
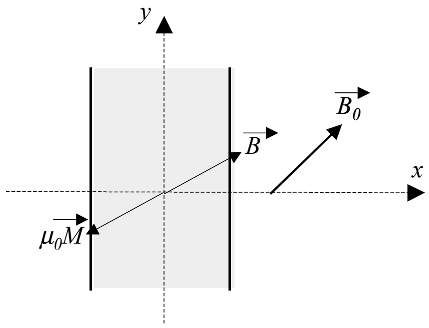
1) a) Calculer la force et le moment résultant des forces de Laplace s'exerçant sur la tige mobile MN en fonction de i, B et a.

b) En quelques lignes, expliquer alors pourquoi un phénomène d'induction électromagnétique apparaît.

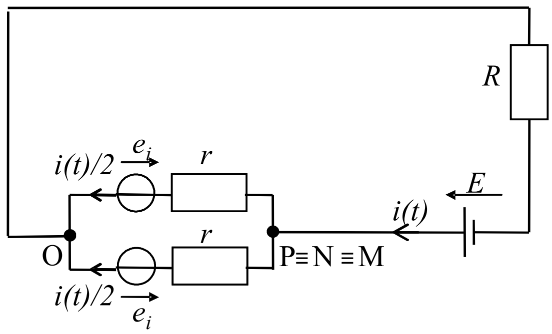
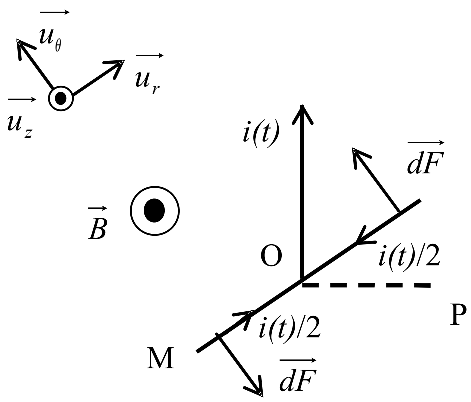
2) On appelle ω(t) ($\omega = \frac{d\theta}{dt}$) la vitesse de rotation instantanée de la tige MN. Déterminer, en fonction de ω, a et B, l'expression des f.e.m. d'induction e_{ON} et e_{OM} apparaissant dans les branches ON et OM respectivement. Comparer e_{ON} et e_{OM}. Précisez clairement l'orientation de ces f.e.m.

CORRIGE – BAREME
De l'interrogation écrite de Physique
Du 16 Novembre 2005

	Questions de cours: 10 points	
1	Circuit (C) placé dans un champ magnétique variable $\vec{B}(t)$,	**0,5**
	se déplaçant à la vitesse $\vec{v}$,	**0,5**
	(Γ) contour coincidant avec le circuit (C) et (S) surface s'appuyant sur (C).	**0,5**
	$e = \iint_{(S)} -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.\vec{dS} + \oint_{(\Gamma)} (\vec{v} \wedge \vec{B}).\vec{dl}$	**1**
	$\underbrace{}_{\text{statique}}$ $\underbrace{}_{\text{motionnelle}}$	**0,5+0,5**
	Loi de Faraday-Lenz	**0,5**
2a	$e = -\frac{d\Phi}{dt}$	**1**
	e f.e.m. induite dans un circuit fermé (C)	
	Φ flux de $\vec{B}$ à travers (C)	
	avec $\Phi = \iint_{(S)} \vec{B}.\vec{dS}$	**0,5**
	(S) surface s'appuyant sur (C).	**0,5**
	On choisit un sens positif sur le contour (C),	**0,5**
2b	ce qui permet d'orienter $\vec{dS}$ pour le calcul de Φ	**0,5**
	Si e > 0, e tend à faire circuler dans (C) un courant i dans le sens positif choisi et inversement	**0,5**
2c	La seule restriction est que le circuit soit de constitution matérielle constante	**0,5**
3	$div\vec{D} = \rho \qquad rot\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	**0,5+0,5**
	$div\vec{B} = 0 \qquad rot\vec{H} = \vec{j}$	**0,5+0,5**
	TOTAL Questions de cours	**10 pts**
I	**Milieux magnétiques : 17 points**	
1.	Dans le vide $\vec{B}_0 = \mu_0 \vec{H}_0$	**0,5**
	Dans le milieu $\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$	**0,5**
	Continuité de la composante normale de $\vec{B}$ en x = -a et x = a	**0,5**
	soit $B_x = B_{ox}$ et $H_x = \frac{B_x}{\mu_0 \mu_r} = \frac{B_{ox}}{\mu_0 \mu_r}$	
	Pas de courants surfaciques sur les surfaces x = -a et x = a, donc continuité de la composante tangentielle de $\vec{H}$	**0,5**
	soit $H_y = H_{oy} = \frac{B_{oy}}{\mu_0}$ et $B_y = \mu_0 \mu_r H_y = \mu_r B_{oy}$	
	$H_z = H_{oz} = 0$ et $B_z = 0$	
	En résumé :	

	$\vec{B}\begin{vmatrix} B_{ox} \\ \mu_r B_{oy} \\ 0 \end{vmatrix}$ $\qquad$ $\vec{H}\begin{vmatrix} \dfrac{B_{ox}}{\mu_0 \mu_r} \\ \dfrac{B_{oy}}{\mu_0} \\ 0 \end{vmatrix}$	**2x0,5 pour B** **2x0,5 pour H**
	$\vec{M} = \dfrac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{H}$ ou $M = \chi H = (\mu_r - 1)H$	**0,5**
	$\vec{M} = \left(\dfrac{\mu_r - 1}{\mu_0}\right)\begin{vmatrix} \dfrac{B_{ox}}{\mu_r} \\ B_{oy} \\ 0 \end{vmatrix}$	**2x0,5**
2.a	$\vec{B} = B_{ox}\begin{vmatrix} 1 \\ \mu_r \\ 0 \end{vmatrix}$ $\qquad$ $\mu_0 \vec{M} = (\mu_r - 1) B_{ox}\begin{vmatrix} \dfrac{1}{\mu_r} \\ 1 \\ 0 \end{vmatrix}$	**0,5+0,5**
	$\vec{B}$ et $\mu_0 \vec{M}$ sont colinéaires.	
	Cas $\mu_r = 2$ $\qquad$ $\vec{B} = B_{0x}\vec{u}_x + 2B_{ox}\vec{u}_y$	**0,5**
	$\mu_0 \vec{M} = \frac{1}{2}B_{0x}\vec{u}_x + B_{ox}\vec{u}_y = \dfrac{\vec{B}}{2}$	**0,5**
		
	Tracé exact de B_0 (avec $B_{ox} = B_{oy}$)	**0,5**
	Tracé exact de B par rapport à B_0	**0,5**
	Tracé exact de $\mu_0 M$ colinéaire à B (sinon 0/0,5)	**0,5**
2.b	Cas $\mu_r = 0{,}5$ $\qquad$ $\vec{B} = B_{0x}\vec{u}_x + \frac{1}{2}B_{ox}\vec{u}_y$	**0,5**
	$\mu_0 \vec{M} = -B_{0x}\vec{u}_x + -\frac{1}{2}B_{ox}\vec{u}_y = -\vec{B}$	**0,5**
		
	Tracé exact de B par rapport à B_0	**0,5**
	Tracé exact de $\mu_0 M$ colinéaire à B (sinon 0/0,5)	**0,5**
	Le cas $\mu_r = 2$ correspond à un milieu paramagnétique car $\mu_r = (1+\chi) > 1$ $(\chi > 0)$.	

2.c	Le cas $\mu_r = 0{,}5$ correspond à un milieu diamagnétique car $\mu_r = (1+\chi) < 1$ $(\chi < 0)$. Exiger la justification sinon (0/0,5)	**0,5** **0,5**
3.a	$\vec{j'} = \vec{rot}\vec{M} = \vec{0}$ car $\vec{M}$ uniforme dans la lame. $\vec{k'} = \vec{M} \wedge \vec{N}$, $\vec{N}$ étant le vecteur unitaire normal à la surface de la lame orienté vers l'extérieur de la lame. Face x = + a : $\vec{N} = \vec{u}_z$ $\vec{k}'_+ = -\frac{(\mu_r - 1)}{\mu_0} B_{oy}\vec{u}_z$ Face x = - a : $\vec{N} = -\vec{u}_z$ $\vec{k}'_- = \frac{(\mu_r - 1)}{\mu_0} B_{oy}\vec{u}_z$	**0,5** **0,5+0,5** **0,5** **0,5**
3.b	A l'extérieur de la lame, le champ est $\vec{B}_0 + \vec{B}'$, $\vec{B}'$ étant le champ créé par le milieu magnétique aimanté égal au champ créé dans le vide par les courants de magnétisation $\vec{k}'_+$ et $\vec{k}'_-$. Par exemple en x > a : la nappe $\vec{k}'_+$ crée le champ magnétique $\vec{B}'_+ = -\frac{(\mu_r - 1)}{2} B_{oy}\vec{u}_y$ la nappe $\vec{k}'_-$ crée le champ magnétique $\vec{B}'_- = \frac{(\mu_r - 1)}{2} B_{oy}\vec{u}_y$ Le champ magnétique total créé par les courants de magnétisation $\vec{B}' = \vec{B}'_+ + \vec{B}'_-$ est donc nul pour x > a. Même raisonnement pour x < -a. donc l'introduction de la lame magnétique ne perturbe pas le champ extérieur appliqué et $\vec{B}_0 = \vec{B}_{app}$	**0,5** **0,5** **0,5** **0,5** **0,5**
	TOTAL EXERCICE I	**17 pts**
II	**Induction électromagnétique: 13 points**	
1.	$i = i_1 + i_2$	**0,5**
2.	On ferme l'interrupteur *K* => apparition d'un courant *i(t)* ⇨ force de Laplace sur la tige MN suivant $\vec{u}_\theta$ ⇨ => mise en rotation de la tige dans le sens trigonométrique $\dot{\theta} > 0$. ⇨ Mouvement de la tige dans *B* => apparition d'un champ électromoteur $(\vec{v} \wedge \vec{B})$ dans la tige MN et de forces électromotrices. Calcul des f.e.m. induites dans les segments ON et OM $e_{ON} = \int_O^N (\vec{v} \wedge \vec{B}).\vec{d\ell}$ $e_{ON} = \int_O^N (r\omega\,\vec{u}_\theta \wedge B\vec{u}_z).dr\vec{u}_r = \int_0^a (r\omega\, B\vec{u}_r).dr\vec{u}_r = \omega B\int_0^a r dr$ $e_{ON} = \frac{B\omega\, a^2}{2} > 0$, orientée de O vers N idem pour $e_{OM} > 0$, orientée de O vers M $e_{OM} = e_{ON} = e$	 **0,5** **0,5** **0,5** **0,5** **1** **1** **0,5**

3.a		**1,5**
3.b	Les deux branches en parallèle sont identiques donc $i_1 = i_2 = i/2$	**0,5**
3.c	$E = Ri + r\frac{i}{2} + e_i = \left(R+\frac{r}{2}\right) i + \frac{B\omega a^2}{2}$	**1,5**
4		
	Sur un élément $\vec{d\ell} = -dr\vec{u_r}$ de la tige : $\vec{dF} = -\frac{i}{2}dr\vec{u_r}\wedge B\vec{u_z} = \frac{iB}{2}dr\vec{u_\theta}$	**1**
	$\vec{M} = 2\int_{1/2\,tige} \vec{OM}\wedge\vec{dF}$	**0,5**
	$\vec{M} = 2\int_0^a r\vec{u_r}\wedge\frac{iB}{2}dr\vec{u_\theta} = 2\frac{iB}{2}\int_0^a r\,dr\,\vec{u_z} = \frac{iBa^2}{2}\vec{u_z}$	**1,5**
5	Théorème du moment cinétique : $J\frac{d\omega}{dt} = \sum moments$	
	$J\frac{d\omega}{dt} = M + \Gamma_f = \frac{iBa^2}{2} - h\omega$	**1,5**
	TOTAL EXERCICE II	**13 pts**

TOTAL : 40 points