**PS26** **PRINTEMPS 2013**

FINAL (première partie) : Correction

***Question 1*** (8mn) :

1. Définir ce qu’est un dipôle magnétique. Quelle est la formule donnant le moment magnétique d’un dipôle magnétique ?

Un dipôle magnétique est un petit circuit électrique filiforme dont on étudie les effets magnétiques à grande distance. Par définition, le moment magnétique est le produit du courant qui traverse le circuit par son vecteur surface orienté : .

1. Expliquer pourquoi un atome quelconque peut être vu comme un dipôle magnétique.

Un atome peut être vu comme un dipôle pour trois raisons : la rotation orbitale de l’électron autour du noyau crée un moment magnétique orbital, la rotation de l’électron sur lui-même crée un moment magnétique de spin électronique et la rotation des composants du noyau sur eux-mêmes crée un moment magnétique de spin nucléaire.

1. Expliquer la différence entre des matériaux diamagnétiques d’une part et des matériaux paramagnétiques ou ferromagnétiques d’autre part.

Dans les matériaux diamagnétiques la résultante de tous les moments magnétiques de l’atome est nulle par compensation, dans les matériaux para et ferromagnétiques, cette résultante n’est pas nulle.

***Question 2*** (3mn)**:** Définir par une seule phrase les termes suivants pour un matériau ferromagnétique.

* Vecteur aimantation.
* Aimantation rémanente.

Le vecteur aimantation représente le moment dipolaire magnétique par unité de volume d’un matériau. L’aimantation rémanente représente l’aimantation qui reste dans un matériau lorsqu’il n’est plus soumis à aucun champ ou excitation magnétique extérieure.

***Question 3*** (3 mn): Enoncer la loi d’Ohm généralisée aux phénomènes d’induction pour un conducteur ohmique en précisant clairement la signification de tous les termes intervenant dans l’équation (attention : ne pas confondre avec la loi d’Ohm locale).

La loi d’Ohm généralisée s’écrit (en convention récepteur) : u = Ri – e. Dans cette formule, u représente la tension aux bornes du conducteur ohmique, R sa résistance, i l’intensité qui traverse le conducteur et e la force électromotrice d’induction (de Lorentz ou de Faraday) qui prend naissance dans le conducteur.

***Question 4*** (5 mn): Enoncer la loi de Lenz pour l’induction et donner un exemple d’application de cette loi dans les deux cas : induction de Lorentz et induction de Neumann.

Le loi de Lenz stipule que dans un conducteur siège de phénomènes d’induction, le courant induit par ses effets va s’opposer aux causes qui l’ont fait maitre. Dans le cas d’une induction de Lorentz (mouvement d’un circuit dans un champ magnétique indépendant du temps), le courant induit créera une force de Laplace qui va freiner le circuit pour tenter d’annuler la cause de l’induction c'est-à-dire le mouvement du circuit. Dans le cas d’une induction de Neumann (champ magnétique dépendant du temps sur un circuit fixe), le courant induit va créer un champ magnétique qui tentera de s’opposer aux variations du champ magnétique inducteur.

***Question 5*** (3mn): Définir ce qu’est une onde électromagnétique plane. Quelle forme mathématique décrit une telle onde si elle se propage dans la direction des z croissants ?

Une onde électromagnétique plane est une onde telle que les lieux des points se trouvant à un instant donné dans le même état électromagnétique sont des plans appelés plans d’onde. La caractéristique mathématique de telles ondes sera la présence de la variable (t - ) pour une onde qui se propage dans la direction des z croissants.

***Question 6*** (5mn): Rappeler toutes les propriétés fondamentales des ondes électromagnétiques planes progressives dans le vide.

Dans de telles ondes, le champ électrique et le champ magnétique sont perpendiculaires à la direction de propagation. Le champ électrique et le champ magnétique sont perpendiculaires entre eux, le champ magnétique est en norme c fois plus petit que le champ électrique (c représentant la vitesse de la lumière dans le vide) et le trièdre formé par la direction de propagation, le champ électrique et le champ magnétique doit être direct.

**PS26** **PRINTEMPS 2013**

NOM :

FINAL (deuxième partie) : Correction

Problème 1 : On se propose d’étudier le moteur électrique linéaire le plus simple qui soit : le rail de Laplace. Il sera utilisé ici en grue. Son principe est représenté sur la figure suivante. On va utiliser la force de Laplace résultant du courant i dans le barreau mobile MN pour lever la masse M via la poulie et le fil. La tension du fil est notée . La position du barreau mobile est repérée par son abscisse x (il est toujours perpendiculaire aux rails). La largeur entre les barreaux est a. Le champ magnétique est uniforme et perpendiculaire au plan du circuit de norme B et dirigé vers le haut. La résistance du barreau MN est supposée négligeable devant R, la résistance du circuit vaudra donc R quelque soit la position du barreau. On suppose que la poulie transmet la tension T du fil (les vecteurs  et ont donc même norme). La masse m du barreau est supposée négligeable devant la masse M soulevée par le dispositif et sera prise nulle pour les calcules. Le rail est horizontal et la masse M monte verticalement. Au cours du mouvement, la hauteur de M par rapport au sol est z. On rappelle que l’énergie potentielle d’une masse m à une hauteur z du sol est donnée par la formule : Ep = mgz.

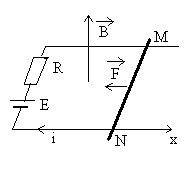
**z**

M sol





x



**Première partie : Etude générale.**

1. Exprimer la force de Laplace en fonction de a, B, i et d’un vecteur unitaire judicieusement choisi.

où est un vecteur unitaire de l’axe des x.

1. Quelle valeur minimum doit avoir i pour que cette force puisse lever la masse M celle-ci étant au repos au sol. On donnera la valeur de imini en fonction de a, B, M et g.

La force de Laplace doit être en norme supérieure au poids soit : iaB > Mg ou 

1. Expliquer pourquoi lorsque le barreau bouge, il se produit un phénomène d’induction dans le circuit. S’agit-il d’induction de Neumann ou de Lorentz ?

On a un circuit mobile dans un champ magnétique indépendant du temps, il s’agit d’induction de Lorentz.

1. Exprimer le champ électromoteur d’induction  dans le barreau en fonction de B, v = et d’un vecteur unitaire judicieusement choisi.



où est le vecteur unitaire de la direction MN.

1. En déduire la force électromotrice d’induction prenant naissance dans le barreau.

Il suffit de faire circuler le champ électromoteur de M à N : .

1. Représenter sur le schéma le vecteur surface du circuit.

Le vecteur surface est parallèle au champ magnétique et de sens contraire.

1. Calculer le flux magnétique à travers le circuit (on rappelle que le champ est uniforme et perpendiculaire au circuit) en fonction de B, x et a.

Par définition du flux, on aura  = - Bax

1. Retrouver le résultat de la question 5. en utilisant la question précédente et la loi de Faraday.

En appliquant la loi de Faraday, on a : .

1. Déterminer la relation liant E, R, i, v, B et a.

Il suffit d’appliquer la loi d’Ohm généralisée au barreau MN : E – Ri = UMN = - e puisqu’on néglige la résistance du barreau. Soit : E – Ri = - Bva.

**Deuxième partie : Etude du système à vitesse constante.**

On suppose dans cette partie que la vitesse v est constante *(positive ou négative suivant l’axe des x*). Il en résulte donc que la masse M descend ou monte à vitesse constante v. Les frottements mécaniques divers (dans l’air où entre m et les rails) sont négligés.

1. Quelle relation lie v (=) et z si le fil est inextensible (justifier clairement).

Le fil étant inextensible, on aura v == -

1. Montrer en appliquant la relation de la mécanique de Newton à la masse M que la tension T du fil vaut Mg. Expliquer très clairement votre raisonnement !

La masse M monte à vitesse constante, donc d’après le principe d’inertie la somme des forces agissant sur elle doit être nulle : la tension du fil est donc égale au poids de la masse M CQFD.

1. Montrer en appliquant la relation de la mécanique de Newton à la masse m que la force de Laplace vaut aussi Mg. Expliquer très clairement votre raisonnement !

Par un raisonnement similaire sur le barreau, la résultante des forces agissant sur ce dernier doit être nulle. Le poids est compensé verticalement par la réaction sans frottement du rail et la force de Laplace est compensée horizontalement par la tension du fil qui est égale à Mg d’après la question précédente. CQFD.

1. En déduire le courant i en fonction de Mg, B, et a.

Il en résulte donc que T = T’ = Mg = iBa soit : .

1. En déduire la vitesse v correspondante en fonction de E, R, M, g, b et a.

Il suffit de reporter cette expression dans le résultat de la question 9. : .

1. On souhaite avoir un moteur qui fait monter la charge M. Quel doit être le signe de v ?

Pour monter la charge, le barreau doit aller vers la gauche donc v doit être négative.

1. En déduire la valeur minimale Emini que doit avoir E pour que le dispositif soit moteur. On donnera cette valeur minimale en fonction de M, g, R, B et a.

D’après le résultat de 14., il faut donc que .

1. On suppose la condition précédente réalisée, la masse M *montant* à la vitesse constante v. Exprimer le produit Ei en fonction de R, i, M, g et v.

D’après 9. Ei = Ri² - Bvai = Ri² - Mgv.

1. Interpréter énergétiquement cette dernière relation.

Le terme de gauche correspond à l’énergie fournie par le générateur. Le terme Ri² correspond à la puissance Joule inévitablement mise en jeu dans la résistance et le terme – Mgv = Mg correspond à l’augmentation d’énergie potentielle de pesanteur de la masse M. Le principe de conservation de l’énergie est bien vérifié.

1. On suppose maintenant que la valeur de E est trop faible ( E < Emini). Montrer que le système fonctionne en générateur de courant.

Si E est trop faible, on aura v positive et >. Le mouvement du barreau génére donc un surplus de courant par rapport au courant délivré par E dans la résistance R. On a donc un générateur de courant.

1. Le courant dans le circuit provient de deux phénomènes : le générateur E et l’induction due à B. En quoi le courant induit obéit-il à la loi de Lenz ?

Le courant induit correspond (voir 19.) à . La force de Laplace associée . Cette force est bien une force de freinage opposée à la vitesse conformément à la loi de Lenz.

**Troisième partie**: Mise en route du moteur.

On revient au fonctionnement en moteur ( E > Emini) mais on ne suppose plus la vitesse constante. On suppose qu’à t = 0, le système est au repos: z = 0, x = L (grand !), v = 0.

1. En appliquant la loi de Newton à la masse m du barreau (supposée quasiment nulle), montrer qu’on a (à peu près) T = iBa (à tout instant).

La somme des forces agissant sur le barreau est quasiment nulle puisque m est quasiment nulle (). En projection sur l’horizontale, tension du fil et force de Laplace doivent donc se compenser CQFD.

1. En appliquant la loi de Newton à la masse M, montrer qu’on a (à tout instant) : T – Mg = - M.



Les forces agissant sur M sont son poids et la tension du fil vertical . En projection sur la verticale on aura donc T – Mg = M = - M CQFD.

1. En déduire l’équation différentielle vérifiée par v en utilisant le résultat de la question 9.

En utilisant les résultats précédents, on aura iBa – Mg = - M et en utilisant 9., on arrive à l’quation différentielle :

1. Résoudre cette équation différentielle et vérifier qu’on retombe au bout d’un certain temps sur la valeur de la vitesse calculée dans la deuxième partie.

La résolution de cette équation différentielle donne v = v0 (1-exp(-)) où on a posé  = et vo =. Quand t devient grand, v tend vers vo qui est bien la valeur trouvée dans la deuxième partie.

1. En déduire i(t).

Il suffit de reprendre l’équation du 9. :

.

**Problème 2 :** On considère une onde électromagnétique plane dont le champ électrique est donné en SI par ses coordonnées cartésiennes dans un repère cartésien classique (on rappelle que la célérité de la lumière vaut c = 3.108m.s-1):



Eo est une constante et t représente le temps.

Les calculs faits seront clairement détaillés.

1. Quels sont :
   1. La pulsation w de l’onde ? w = rad.s-1.
   2. La fréquence f de l’onde ? w = , d’où f = 108 Hz.
   3. La longueur d’onde  ?  == 3 m.
   4. Le domaine d’ondes auquel appartient cette onde  (lumière, rayons X, microondes, autres…)?

Il s’agit d’une radio de la bande FM (100 MHz).

1. Expliquer pourquoi il s’agit d’une onde plane et donner la direction de propagation de cette onde.

La forme mathématique indique qu’il s’agit d’une onde plane car elle ne dépend que de la variable spatiale x et qui se propage dans le sens des x croissants en raison de la présence de la variable.

1. Comment sont disposés les plans d’ondes (plans dans le même état électromagnétique à un instant donné) ? On donnera leur orientation et la distance qui les sépare.

Les plans d’onde correspondent aux plans x = Cste et ils sont séparés par définition de la longueur d’onde .

1. ***Montrer*** en utilisant les propriétés des ondes électromagnétiques planes que le champ magnétique associé au champ électrique précédent peut s’écrire : où est le vecteur unitaire de l’axe Ox.

Ceci est la conséquence des propriétés des ondes planes dans le vide (voir question de cours n°6).

1. Déterminer le champ magnétique associé: on donnera les composantes du vecteur dans le repère cartésien.

Il suffit d’effectuer le calcul de la question précédente :



1. Donner les composantes du vecteur de Poynting associé à cette onde.

Par définition =

1. Déterminer la puissance transportée par cette onde si son étendue transversale est s. On donnera le résultat en fonction de Eo, o, c et s. Montrer que cette puissance ne dépend pas du temps.

Il suffit de faire le produit scalaire du vecteur de Poynting par le vecteur surface associé à s et orienté dans le sens de la propagation. On trouve qui est bien indépendant du temps.

1. Quel est le type de polarisation de cette onde ? Faites une démonstration précise de votre réponse.

On a de façon évidente :  qui est l’équation d’un cercle. Il s’agit donc d’une polarisation circulaire.

1. On place un récepteur formé par une bobine plate comportant N spires de section S sur le trajet de cette onde. Dire dans les trois cas suivants dans quel cas on détectera un signal dans la spire réceptrice en justifiant très clairement :
   1. La spire est parallèle au plan xOy.
   2. La spire est parallèle au plan xOz.
   3. La spire est parallèle au plan yOz.

Pour qu’il y ait un signal par induction, il faut que le champ magnétique est au moins une composante suivante la normale à la bobine. Il y aura donc un signal reçu dans les cas a et b mais pas dans le cas c.

On place la spire précédente parallèlement au plan xOz, son centre étant en O.

1. Donner l’expression du vecteur surface de cette spire en fonction de N, S et d’un vecteur unitaire judicieusement choisi. Faire un dessin très clair indiquant l’orientation choisie pour le contour de cette surface.

 où est le vecteur unitaire de l’axe Oy. Il faudra orienter la surface suivant la règle du tournevis.

1. Déterminer le flux magnétique créé par l’onde dans la spire. On supposera la longueur d’onde beaucoup plus grande que le rayon de la spire pour pouvoir supposer le champ quasi uniforme sur la surface de la spire et égal à sa valeur en O.

Il suffit de faire le produit scalaire du champ magnétique en O par le vecteur surface et on trouve :

 = 

1. En déduire la fem qui prend naissance dans la spire au passage de l’onde en fonction de N, S, Eo, w, c et t.

Par la loi de Faraday, on aura : .