PS26 P2016

FINAL

Sans documents, ni calculette

Le sujet est un peu long pour deux heures. La notation en tiendra compte. Le but est de voir ce que vous pouvez faire en deux heures.

Questions de cours (temps maximum conseillé: 30 mn):

1. Quelle relation lie en *électrostatique* le champ électrique $\vec{E}$ et le potentiel V.
2. Montrer qu'en électrostatique entre deux points A et B de l'espace on a : $V_A - V_B = \int_A^B \vec{E}.\overrightarrow{dl}$.
3. Rappeler les propriétés fondamentales d'un conducteur en équilibre électrostatique (valeur du champ électrique à l'intérieur, du potentiel, de la charge volumique… et théorème de Coulomb donnant le champ au voisinage de la surface d'un conducteur).
4. En quoi consiste l'effet de pointe dans un conducteur en équilibre électrostatique et en quoi est-ce dangereux ?
5. Qu'est-ce que le moment magnétique d'un circuit électrique?
6. Expliquer pourquoi un électron en orbite circulaire autour d'un noyau est équivalent à un moment magnétique (moment magnétique orbital) et donner la direction de ce moment magnétique en faisant un petit schéma avec le noyau et l'électron.
7. Pourquoi le moment magnétique d'un atome diamagnétique est-il nul ?
8. On rappelle les équations liant les champs électrique et magnétique et les potentiels :

$$\vec{B} = \mathrm{rot}\,\vec{A} \;;\; \vec{E} = -\overrightarrow{\mathrm{Grad}}\,V - \frac{\partial\vec{A}}{\partial t}$$

Expliquer clairement pourquoi en régime variable (dépendant du temps) les champs magnétique et électrique ne peuvent pas être indépendants.

9. Qu'est-ce qu'une onde électromagnétique plane ?
10. Donner les propriétés fondamentales d'une onde électromagnétique plane (orientation des champs, relation entre les champs…)

Exercice n°1 (temps conseillé : 35 mn): Champ créé par une nappe de courant.

On rappelle qu'un fil rectiligne infini parcouru par un courant i, crée un champ magnétique dont la direction et le sens sont donnés par la règle du bonhomme d'Ampère et dont la norme est donnée par la formule $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$ où r est la distance du point de l'espace considéré au fil.

Première partie : on considère deux fils électriques infinis parallèles, distants de d, parcourus par le même courant I. On s'intéresse aux points de l'espace situés dans le plan (π) médiateur des deux fils. Le repérage d'un des points de ce plan se fait par sa coordonnée y, les fils infinis et (π) sont perpendiculaires au plan de la feuille (voir figures 1 et 2 de la feuille annexe à rendre avec la copie en mettant son nom).

1. Les deux courants sont dans le même sens et se dirigent vers le lecteur (figure 1).
   a. Représenter avec précision sur la feuille annexe les champs magnétiques créés par les deux fils au niveau du point M de la figure.

b. Déterminer la norme B de chacun de ces champs magnétiques en fonction de μ_o, I, d et y.
c. Représenter sur la feuille annexe le champ magnétique total créé par les deux fils au point M. Quelle est sa direction ? Justifier clairement.
d. Déterminer la norme B_{tot} du champ magnétique total crée en M en fonction de B et θ puis en fonction de μ_o, I, d et y.

2. Les deux courants sont en sens contraires (voir figure 2).
   a. Représenter les champs magnétiques créés par les deux fils au niveau du point M de la figure.
   b. Représenter le champ magnétique total créé par les deux fils au point M. Quelle est sa direction ? Justifier clairement.
   c. Déterminer la norme B'_{tot} du champ magnétique total crée en M en fonction de B et θ puis en fonction de μ_o, I, d et y.

Deuxième partie :

On considère une nappe de courant formée par une plaque plane infinie d'épaisseur e très faible. Cette plaque est parcourue par un courant de densité volumique $\vec{j}$ uniforme venant vers le lecteur (voir figure 3). On rappelle la relation entre l'intensité du courant I et le vecteur densité de courant $\vec{j}$: I = $\iint \vec{j}.\overrightarrow{dS}$. Pour calculer le champ créé par cette nappe en tout point extérieur à la nappe, on décompose la nappe en une infinité de fils de section rectangulaire de côtés e et dx (voir figure 3).

3.
   a. Quelle est l'intensité dI qui traverse un de ces « fils ». On donnera le résultat en fonction de j (j : norme de $\vec{j}$), e et dx.
   b. Dessiner sur la figure 3, le champ magnétique $\overrightarrow{dB}$ créé par un fil situé à l'abscisse x en un point M situé sur l'axe Oy à une distance h de la nappe et vu depuis le « fil » sous un angle θ.
   c. Donner ensuite la norme dB de ce champ magnétique. On donnera le résultat en fonction de μ_o, dI, h et θ.

4.
   a. En utilisant la question 1 et les symétries du problème, déterminer la direction du champ magnétique total créé par la nappe en tout point M extérieur à celle-ci.
   b. Donner alors la valeur de la projection du champ magnétique représenté en b. sur la direction trouvée dans la question précédente. On donnera le résultat en fonction de μ_o, dI, h et θ.

5.
   a. Montrer que $dx = -\frac{h d\theta}{\sin^2\theta}$. On peut admettre cette formule pour la suite.
   b. En déduire par une intégration la valeur du champ magnétique total crée par la nappe en M.
   c. Ce champ dépend-il de h ? Commenter.

Exercice n°2 (temps conseillé : 35 mn): Freinage électromagnétique d'un barreau sur des rails inclinés.

On considère l'expérience des rails de Laplace vue en cours. Les rails sont inclinés d'un angle α par rapport à l'horizontale. Ces rails parallèles (de résistances négligeables) sont séparés d'une distance a. Ils sont intégrés dans un circuit électrique fermé à gauche par une résistance R et à droite par un barreau mobile de masse m, de résistance négligeable qui glisse sans frottements sur les rails tout en restant perpendiculaire aux rails (figures 4 et 5 de la feuille annexe). L'orientation du circuit est imposée par la figure. L'ensemble est placé dans un champ magnétique extérieur $\vec{B}$ uniforme et vertical vers le haut de norme B. Sous l'effet de son poids (on notera g la norme de l'accélération de pesanteur $\vec{g}$), le barreau se met à glisser et sa position est repérée par son abscisse x comptée à partir de la position de la résistance. On négligera le champ magnétique terrestre devant le champ imposé de l'extérieur.

1. Placer sur la figure 5 (vue de côté), le vecteur surface du circuit.
2. Exprimer le flux magnétique à travers le circuit en fonction de B, α, a et x.
3. En négligeant l'auto-induction, déterminer la fem qui prend naissance dans le circuit en fonction de B, a, α et v = $\frac{dx}{dt}$.
4. En déduire le courant i traversant le circuit en fonction de B, a, α, R et v = $\frac{dx}{dt}$.
5. Quelle serait l'équation différentielle donnant le courant i si on tenait compte de l'auto-induction (coefficient L). Ne pas chercher à intégrer !

Pour la suite, on négligera l'auto-induction et on se servira du résultat trouvé en 4 pour i.

6. En déduire la force de Laplace prenant naissance dans le barreau en fonction de B, a, α, R, v et d'un vecteur unitaire judicieusement choisi.
7. La loi de Lenz est-elle vérifiée ?
8. En appliquant la seconde loi de Newton (somme des forces=masse*accélération) en projection sur la direction des rails, déterminer l'équation différentielle qui permet de trouver v. On rappelle que le barreau est soumis à son poids et glisse sans frottement. Mettre l'équation différentielle sous la forme: $\frac{dv}{dt} + \frac{v}{\tau} = A$. Préciser les valeurs de τ et A.
9. Résoudre l'équation différentielle précédente en supposant qu'à t = 0, v = 0 (le barreau commence à glisser sans vitesse initiale).
10. Montrer qu'il existe une valeur limite atteinte par la vitesse du barreau. Exprimer cette valeur limite en fonction de A et τ.
11. En déduire x(t) en supposant qu'à t=0, le barreau est en x = 0. On donnera x(t) en fonction de A, τ, x_o et t.
12. Question bonus: faire un bilan énergétique du problème lorsque le système a atteint sa vitesse limite.

<u>Exercice n°3 (temps conseillé 25 mn)</u> : Etude d'une onde plane.

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 = $3.10^8 m.s^{-1}$):

$$\begin{cases} E_x = 0 \\ E_y = E_o \cos\left[2\pi 10^8 (t - \frac{x}{c})\right] \\ E_z = E_o \sin\left[2\pi 10^8 (t - \frac{x}{c})\right] \end{cases}$$

E_o est une constante et t représente le temps. Les calculs faits seront clairement détaillés.

1. Quels sont numériquement (préciser clairement l'unité SI):
   a. La pulsation w de l'onde ?
   b. La fréquence f de l'onde ?
   c. La longueur d'onde λ ?

    d. Le domaine d’ondes auquel appartient cette onde (lumière, rayons X, micro-ondes, autres…)?

2. Expliquer pourquoi il s’agit d’une onde plane et donner la direction et le sens de propagation de cette onde.
3. 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 sépare deux plans d’onde dans le même état électromagnétique.
4. Déterminer le champ magnétique associé: on donnera les composantes du vecteur dans le repère cartésien. On rappelle que le champ magnétique d’une onde plane est donné par la relation : $\vec{B} = \frac{\vec{u} \wedge \vec{E}}{c}$ où $\vec{u}$ est le vecteur unitaire de la direction de propagation.
5. Quel est le type de polarisation de cette onde ? Indication: calculer $E_y^2 + E_z^2$. Justifier clairement.
6. 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:
    a. La spire est parallèle au plan xOy.
    b. La spire est parallèle au plan xOz.
    c. La spire est parallèle au plan yOz.

NOM :

PRENOM :

<u>Exercice n°1</u> :

Figure 1 :

Figure 2 :

Figure 3 :

<u>Exercice n°2</u> :

Figure 4 :

Figure 5 :