Électromagnétisme – deuxième session

Mardi 24 juin 2014

Pas de documents - calculatrices *collège* autorisées - durée 1h30

Le candidat veillera à écrire lisiblement, soigner la rédaction de sa copie, faire des schémas clairs, préciser les unités des grandeurs et indiquer les vecteurs par une flèche surmontant leur symbole. On utilisera pour valeurs numériques $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\ 10^9$ m/F pour la constante de Coulomb, $\frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7}$ H/m pour la constante magnétostatique.

A - Force électrostatique

On considère $N_p = 47$ particules identiques de charge $q = +10\,\mu$C régulièrement réparties sur un cercle de rayon $R = 5$ cm et de centre O.

1. Donner l'amplitude, son expression analytique puis sa valeur numérique, la direction et le sens du champ électrique créé en O par chacune des charges.
2. Donner sans calcul la valeur vectorielle du champ électrique en O.
3. En déduire directement l'amplitude, la direction et le sens du champ électrique en O si une des charges est retirée.
4. Calculer alors l'amplitude de la force exercée par les $N_p - 1$ charges sur une particle placée en O et de charge $Q = 100\,\mu$C.
5. Préciser si la charge centrale est attirée ou repoussée par la charge retirée.

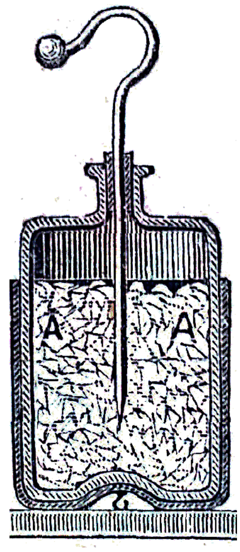
B - Champ magnétique

Le champ magnétique créé par une bobine plate circulaire comprenant N_s spires de rayon R parcouru par un courant électrique d'intensité I est colinéaire à l'axe de la bobine, et son amplitude au centre de la bobine vaut

$$\frac{\mu_0 N_s I}{2R}$$

1. Faire un schéma clair et univoque de la bobine comportant le sens du courant et le sens du champ magnétique au centre.
2. On considère à nouveau $N_p = 47$ particules identiques de charge $q = 10\,\mu$C régulièrement réparties sur un cercle de rayon $R = 5$ cm et de centre O. Les particules sont en mouvement sur le cercle, toutes dans le même sens et avec une vitesse de 1000 tours par seconde. Calculer le courant $N_s I$ équivalent.
3. On place maintenant un petit aimant en O de telle sorte que son vecteur moment dipolaire magnétique soit parallèle au plan des charges. Sachant que l'énergie potentiel magnétique de l'aimant de moment $\vec{\mathrm{m}}$ dans le champ magnétique $\vec{\mathrm{B}}$ créé par les charges mobiles est de la forme $-mB\cos\theta$ plus constante, avec θ l'angle entre les deux vecteurs, calculer l'amplitude du couple exercé sur l'aimant.

C - Bouteille de Leyde



Une bouteille de Leyde est un condensateur constitué de deux électrodes coaxiales, une aiguille de rayon $a = 5\,\mathrm{mm}$ et un cylindre de rayon intérieur $b = 5\,\mathrm{cm}$. Les électrodes sont séparées par une épaisseur de verre qu'on néglige, et par un isolant, de l'huile de permittivité électrique relative $\varepsilon_r = 5$. On suppose que le champ électrique dans l'isolant est radial et ne dépend que de la distance à l'axe r :

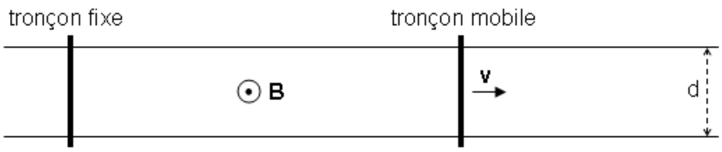
$$E(r) = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r h}$$

avec q la charge de l'aiguille et h sa longueur dans l'isolant.

1. Si la charge q est positive, quelle est l'électrode de plus haut potentiel ?
2. La capacité de la bouteille de Leyde est de $C = 1\,\mathrm{pF}$. Que devient cette capacité si l'huile est remplacée par de l'éthanol de constante diélectrique $\varepsilon_r = 25$?

D - Induction électromagnétique

On considère deux rails métalliques espacés d'une distance d, sur lesquels se trouvent deux tronçons conducteurs, l'un fixe et l'autre mobile, et tous deux de résistance R. Un champ magnétique $\vec{\mathrm{B}}$ uniforme perpendiculaire au plan des rails règne dans l'espace (cf figure). Le tronçon mobile est éloigné du fixe à une vitesse uniforme $\vec{\mathrm{v}}$.



1. Calculer la *fem* induite dans le circuit en intégrant le champ électromoteur de Lorentz :

$$\vec{\mathrm{E}}_m = \vec{\mathrm{v}} \wedge \vec{\mathrm{B}}$$

2. Calculer à nouveau la *fem* mais cette fois avec la loi de Faraday. Obtenez-vous le même résultat ?
3. Quelle est l'intensité du courant induit dans le circuit ? Indiquer le sens de circulation de ce courant dans le circuit.

E - Approximation des régimes quasi-stationnaires

On considère deux points A et B d'un circuit électrique, séparés d'une distance d. Un courant sinusoidal passe au point A : $i(A) = i_0 \sin\omega t$. Il existe un délai à l'établissement du courant en B : $i(B) = i_0 \sin\omega(t - t_p)$, où t_p est le temps de propagation du champ électrique de A à B.

1. Le champ électrique se propage avec la célérité de la lumière c. Donner l'expression de t_p.
2. Pour quelle valeur de d les courants en A et B sont-ils opposés ? Faire l'application numérique pour $\omega = 2\pi f$ avec $f = 50$ Hz.
3. Toujours pour $f = 50$ Hz, à partir de quelle valeur approximative de d diriez-vous que l'on peut considérer les courants en A et B comme égaux ?