Les dipôles électromagnétiques

Questions sur le cours

1. I.2°.i : comment sait-on *a priori* qu'un développement à l'ordre 1 suffit ?
2. I.2°.ii : pourquoi n'a-t-on pas calculé directement le champ $\vec{E}$?
3. I.3°.iii. : pourquoi les petites billes de polystyrène expansé collent-elles aux doigts ?
4. I.7° : les forces subies par les dipôles rigide et non rigide sont formellement identiques à savoir : $f_x = p \dfrac{\mathrm{d}E_x}{\mathrm{d}x}$ pour la situation choisie. Pourquoi les énergies potentielles ne sont-elles pas alors les mêmes aussi ?

Exercice 1 Dipôle linéaire

Un segment de longueur $2a$ de l'axe (Oz) porte respectivement les charges linéiques constantes λ et $-\lambda$ sur les parties $0 < z < a$ et $-a < z < 0$.

1. Calculer le champ $\vec{E}$ en un point du plan $z = 0$ situé à la distance b de l'origine.
2. Lorsque $b \gg a$, interprétez ce résultat à l'aide du concept de dipôle.

Exercice 2 Dipôle sur l'axe d'une spire

Soit une spire circulaire de rayon R de charge linéaique $\lambda > 0$.

1. Calculer le champ $\vec{E}$ en tout point de l'axe $\vec{u}_z$ de la spire.
2. Un dipôle de moment dipôlaire $\vec{p} = p\,\vec{u}_z$ $(p > 0)$ est placé sur l'axe de la sipre. Déterminer ses positions d'équilibre et discuter leur stabilité.

Exercice 3 Quadripôle

On considère une charge $2\,q$ placée en O et deux charges $-q$ placées sur l'axe (Ox) respectivement au point d'abscisse $x = -a$ et $x = +a$.

Calculer le potentiel en un point M situé à la distance $r \gg a$ de O.

Exercice 4 Disque

Un disque circulaire de centre O, de rayon R d'épaisseur a est uniformément chargé avec une densité surfacique σ sur la face supérieure et $-\sigma$ sur la face inférieure.

1. Déterminer l'expression du potentiel $V(z)$ en un point M de l'axe Oz du disque de cote z à grande distance, *ie.* tel que $OM \gg a$.
2. En déduire l'intensité du champ électrique en M.
3. Retrouver le potentiel en M en décomposant le disque en petits dipôles électriques dont on précisera le moment.
4. Déterminer le champ électrique en un point M' très voisin du point M de cote z, à la distance r de cet axe. Quelle est sa direction par rapport à (Oz) ?

Exercice 5 Moment dipolaire induit et polarisabilité

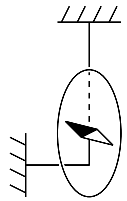
On considère deux ions A_1 et A_2 polarisables, supposés ponctuels distants de r, de charges respectives q_1 et q_2, placés dans le vide. L'ion A_1, placé dans le champ $\vec{E}_1$ produit par l'autre ion, acquiert un moment dipolaire (induit) $\vec{p}_1 = \alpha_1\,\varepsilon_0\,\vec{E}_1$ et l'ion A_2, placé dans le champ $\vec{E}_2$ produit par l'ion A_1 acquiert le moment dipolaire $\vec{p}_2 = \alpha_2\,\varepsilon_0\,\vec{E}_2$; les coefficients positifs α_1 et α_2 qui caractérisent les ions s'appellent polarisibilité de A_1 et A_2 repectivement.

Exprimer les moments dipolaires $\vec{p}_1$ et $\vec{p}_2$ de chaque ion en fonction de q_1, q_2, r, $\vec{r} = \overrightarrow{A_1A_2}$ et des coefficients β_1 et β_2 liés aux polarisabilités par $\beta_1 = \alpha_1/(4\,\pi)$ et $\beta_2 = \alpha_2/(4\,\pi)$.

Exercice 6 Composante horizontale du champ géomagnétique

Un petit aimant, ou une petite aiguille aimanté, assimilable à un dipôle magnétique de moment $\vec{\mathscr{M}}$ subit, lorsqu'il est plongé dans un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme, un couple de moment $\vec{\Gamma} = \vec{\mathscr{M}} \wedge \vec{B}$. Cette expression est généralisable, concernant le moment des forces au point où est placé l'aimant, lorsque le champ magnétique n'est pas uniforme.

On se propose de mesurer la norme de la composante horizontale $\vec{B}_{\mathrm{H}}$ du champ magnétique terrestre en un lieu. À Paris B_{H} est de l'ordre de 2.10^{-5} T. Pour cela on dispose d'une petite aiguille aimantée montée sur pivot, donc mobile autour d'un axe vertical sans frottements. Ce petit aimant est placé au centre O d'une bobine plate comportant N spires circulaires de rayon R chacune (on néglige la section des fils) contenue dans un plan vertical et alimentée par un courant continu d'intensité I réglable.



Les rotations éventuelles de l'aiguille sont mesurables sur un cercle gradué, la graduation 0 correspondant à la position où l'aiguille est dans le plan de la bobine.

1. **Méthode de la boussole des tangentes**
   Sachant que l'on peut choisir le plan de la bobine, proposer un protocole de mesure de la composante $\vec{B}_{\mathrm{H}}$ du champ magnétique terrestre.
   L'expérience a été réalisé avec $\vec{B}_{\mathrm{H}}$ contenue dans le plan de la bobine. Lorsque l'intensité passe d'une valeur nulle à la valeur I, l'aiguille tourne d'un angle α. En déduire $\vec{B}_{\mathrm{H}}$.
   Données : $N = 5$; $R = 12{,}0$ cm ; $I = 0{,}381$ A ; $\alpha = 20{,}0$ °.
2. **Méthode des oscillations**
   On utilise le même matériel que précédemment mais cette fois la position de référence (ou d'équilibre) de l'aiguille est perpendiculaire à la bobine. On désigne par B_C la norme du champ magnétique créé par ce circuit. On suppose I tel que $B_C < B_{\mathrm{H}}$. On admet que l'aiguille se comporte, du seul point de vue cinétique, comme une tige sans masse de longueur 2ℓ aux extrémités de laquelle il y a deux masses $m/2$. On notera $J \overset{\text{not}}{=} m\,\ell^2$.
   Montrer que la position d'équilibre de l'aiguille aimantée n'est pas modifiée par l'existence d'un tel courant I dans la bobine.
   Montrer que la période des petites oscillations de l'aiguille, préalablement écartée de sa position d'équilibre, dépend du sens du courant dans le circuit. Désignant par T et T' les périodes

des oscillations quasi-sinusoïdales observées pour les deux sens (à préciser), établir la relation $B_{\mathrm{H}} = \dfrac{T^2 + T'^2}{T'^2 - T^2} \times B_C$.