Université Paul Sabatier

Examen 2ème session (1h30)
L3 SPC - Propriétés électromagnétiques

Documents et calculatrice interdits.
La qualité de la rédaction sera valorisée. Toutes les réponses devront être justifiées.

1 Questions

1. On considère une sphère uniformément polarisée de polarisation $\vec{P} = P\vec{e}_z$. Déterminer les densités volumique et surfacique de charges de polarisation. Représenter le vecteur polarisation et les charges de polarisation sur une figure.

2. a) Décrire les différents mécanismes microscopiques à l'origine de la polarisation d'un milieu diélectrique.
b) Comment peut on distinguer ces différents mécanismes ?

3. Que se passe-t-il quand un paquet d'ondes, composé de plusieurs ondes planes de pulsations différentes, se propage dans un milieu diélectrique dispersif ?

4. Discuter de la variation de l'aimantation $\vec{M}$ d'un milieu paramagnétique en fonction de la température. On précisera les conditions (champ magnétique, température).

3. a) Les matériaux ferromagnétiques présentent de l'hystérésis. Qu'est ce que cela signifie ?
b) Qu'est ce qui distingue les matériaux ferromagnétiques doux et durs ? Dans quels types d'applications sont utilisés ces matériaux ?

2 Propagation d'une onde

Propagation dans un milieu d'indice réel : on considère la propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu diélectrique linéaire, homogène, isotrope, transparent, non magnétique d'indice n. On considère que le milieu est non chargé et très bon isolant (on considère qu'il n'y a pas de courant libre dans le milieu).

1. Ecrire les équations de Maxwell sous forme locale dans le milieu en fonction de n.

L'onde électromagnétique est une onde plane progressive harmonique de pulsation ω et de vecteur d'onde $\vec{k}$. On considère que l'onde se propage selon l'axe (Oz) dans la direction des z croissants et est polarisée rectilignement selon $\vec{e}_x$. On note E_0 l'amplitude du champ électrique.

2. a) Comment s'écrit le vecteur d'onde ? Quelle est la vitesse de propagation de l'onde ?
b) Ecrire le champ électrique et le champ magnétique associés à cette onde. On utilisera la notation complexe. Que peut-on dire du vecteur d'onde, du champ électrique et du champ

magnétique ? Justifier.

3. Déterminer la valeur moyenne du vecteur de Poynting (moyenne sur une période d'oscillation de l'onde). En déduire la puissance moyenne traversant une surface d'aire S orthogonale à la direction de propagation de l'onde et orientée dans le sens de propagation de l'onde.

Propagation dans un milieu d'indice complexe : on considère maintenant que le milieu a un indice complexe $\underline{n} = n_1 + in_2$.

3. Comment s'écrit le vecteur d'onde dans ce cas ? Ecrire les champs électrique et magnétique, complexes et réels, associés à l'onde électromagnétique.

Le milieu considéré est caractérisé par sa susceptibilité diélectrique complexe :

$$\underline{\chi}_e(\omega) = \frac{\omega_p^2}{(\omega_0^2 - \omega^2 - i\omega/\tau)}$$

avec ω_p la pulsation plasma. On rappelle que $\omega_0 >> 1/\tau$.

4. a) Quel modèle est à l'origine de cette expression pour $\underline{\chi}_e$? Que représentent ω_0 et τ ?
b) Ecrire la relation reliant $\underline{\chi}_e$ à l'indice complexe $\underline{n}$ du milieu.

5. Déterminer la partie réelle χ_r et la partie imaginaire χ_i de la susceptibilité complexe $\underline{\chi}_e$. Représenter χ_r et χ_i en fonction de ω.

6. a) Pour quelle pulsation ω_{max} l'absorption est-elle maximale ? Donner l'expression de la susceptibilité complexe pour $\omega = \omega_{max}$.
b) Déterminer l'indice de réfraction et l'indice d'absorption du milieu à la pulsation ω_{max}. On considèrera que l'indice de réfraction est grand devant l'indice d'absorption.

On donne : $\vec{A} \wedge (\vec{B} \wedge \vec{C}) = (\vec{A}.\vec{C})\vec{B} - (\vec{A}.\vec{B})\vec{C}$

Pour $\vec{A}$ et $\vec{C}$ qui s'écrivent en notation complexe $\underline{\vec{A}} = \underline{\vec{A_m}}\, e^{-i\omega t}$ et $\underline{\vec{C}} = \underline{\vec{C_m}}\, e^{-i\omega t}$, les valeurs moyennes de $\vec{A} \cdot \vec{C}$ et $\vec{A} \wedge \vec{C}$ sur une période d'oscillation s'écrivent respectivement :

$$< \vec{A} \cdot \vec{C} >= \frac{1}{2}\, \mathcal{R}e(\underline{\vec{A}} \cdot \underline{\vec{C}}^*) \;\text{ et }\; < \vec{A} \wedge \vec{C} >= \frac{1}{2}\, \mathcal{R}e(\underline{\vec{A}} \wedge \underline{\vec{C}}^*)$$