

- 1) Equations de Maxwell et énergie électromagnétique. Cours et exercices.
- 2) Ondes électromagnétiques dans le vide. Réflexion sur un métal parfait. Cavité électromagnétique. Cours et exercices.
- 3) Electromagnétisme dans les métaux, les plasmas en question de cours et exercices proches du cours.

## ÉLECTROMAGNÉTISME DANS LES MÉTAUX ET LES PLASMAS

### I. Électromagnétisme dans un conducteur

- Conducteur ohmique. Loi d'Ohm locale.
- Équation différentielle temporelle vérifiée par la densité volumique de charge électrique (équation de relaxation). Conséquence : nullité de  $\rho$ .
- Comparaison courant de déplacement / courant de conduction. Équation de Maxwell - Ampère modifiée.
- Équations de diffusion pour  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$ .
- Résolution dans un cas particulier sinusoïdal : effet de peau. Longueur de peau  $\delta$ . Atténuation de l'onde EM
- Vecteur d'onde complexe : pseudo-OPPS. Propagation et atténuation. Règles de calcul avec les pseudo-OPPS.

### II. Électromagnétisme dans un plasma

- Définition d'un plasma.
- Modèle du plasma dilué : force magnétique négligeable, interactions entre particules du plasma négligeables. Expression des vitesses des électrons et des ions, densité de courant complexes, conductivité complexe  $\underline{\gamma}$ .
- Relation entre  $\underline{k}$  et  $\omega$ . Discussion : propagation sans atténuation si  $\omega > \omega_p$ . Onde évanescence si  $\omega < \omega_p$ .

## QUESTIONS DE COURS

1. Définir un métal parfait et en donner les propriétés électromagnétiques en les justifiant.
2. Une OPPS incidente  $\vec{E}_i$  polarisée rectilignement arrivant de  $-\infty$  sur un plan métallique parfait situé en  $x = 0$ , déterminer le champ électrique  $\vec{E}_r$  de l'onde réfléchie. Déterminer les champs magnétiques  $\vec{B}_i$  et  $\vec{B}_r$ , puis les champs résultants  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$ .
3. Vérifier que  $s(x, t) = f(t - \frac{x}{v}) + g(t + \frac{x}{v})$  est solution de l'équation de d'Alembert unidimensionnelle pour une onde plane scalaire dont les plans d'onde sont orthogonaux à  $Ox$ .
4. Donner sans démonstration les différentes opérations dans le domaine complexe pour une OPPS complexe. En déduire les transversalités électrique et magnétique de l'OPPS électromagnétique dans le vide et obtenir la relation de structure.
5. Définir une OPPS EM polarisée rectilignement. Dans le cas où une OPPS EM se propage selon  $+\vec{e}_z$ , indiquer ce qu'est une polarisation circulaire. Étudier les deux cas (polarisations circulaires gauchet et droite) selon le déphasage  $\Phi$  de la composante  $E_y$  par rapport à la composante  $E_x$  de  $\vec{E}$ .
6. Établir l'équation différentielle temporelle d'évolution de la densité volumique de charges dans un métal ohmique. Solution, constante de temps et conséquences.
7. Justifier la simplification de l'équation de Maxwell - Ampère dans un milieu conducteur ohmique. Établir les équations de diffusion pour  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$ .
8. Une pseudo-OPPS se propage dans un milieu conducteur de conductivité  $\gamma$  avec un vecteur d'onde complexe  $\underline{k} = \underline{k} \vec{u}$ . Établir la relation de dispersion reliant  $\underline{k}$  et  $\omega$ .
9. Définir un plasma et établir la relation constitutive reliant  $\vec{j}$  (en précisant toutes les hypothèses de travail) et  $\vec{E}$  (en notation com-

plexe et en régime sinusoïdal forcé) avec toutes les hypothèses.  
En déduire l'expression de la conductivité complexe  $\underline{\gamma}$ .

10. Connaissant la relation  $\vec{j} = \underline{\gamma} \vec{E}$  et l'expression de  $\underline{\gamma}$  (donnée), établir la relation de dispersion reliant  $\underline{k}$  et  $\omega$  dans le plasma. Expression de la pulsation de plasma  $\omega_p$ . Discuter les cas où  $\omega > \omega_p$  et  $\omega < \omega_p$