

- 1) Thermochimie en cours et en exercices y compris déplacements d'équilibres. Note : la variance n'est plus au programme.
- 2) Ondes électromagnétiques dans le vide. Réflexion sur un métal parfait. Cavité électromagnétique. Cours et exercices.
- 3) Electromagnétisme dans les métaux, les plasmas. Vitesse de phase et vitesse de groupe. Coefficients de réflexion et de transmission en amplitude et en énergie.

## 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  $\delta$ . Absorption de l'onde.
- 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 : 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 évanescente si  $\omega < \omega_p$ .

### III. Vitesses de phase et de groupe

- Superposition d'OPPS : paquet d'onde. Paquets d'onde gaussien et rectangulaire.
- Vitesse de groupe :  $v_g = \frac{d\omega}{dk}$

### IV. Coefficients de réflexion et de transmission

- Coefficients de réflexion et de transmission en amplitude.
- Exemple de la réflexion d'une onde sur un métal réel.
- Coefficients de réflexion et de transmission en énergie.

## QUESTIONS DE COURS

1. Déplacements d'équilibres chimiques : énoncer les lois de Van't Hoff et de Le Châtelier.
2. Définir un métal parfait et en donner les propriétés électromagnétiques en les justifiant.
3. 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  $\vec{B}$ .
4. Établir l'équation différentielle temporelle d'évolution de la densité volumique de charges dans un métal ohmique. Solution, constante de temps et conséquences.
5. Justifier la simplification de l'équation de Maxwell - Ampère dans un milieu conducteur ohmique. Établir les équations de diffusion pour  $\vec{E}$  et  $\vec{B}$ .

6. Établir la solution  $\vec{E}(x, t) = \text{Re}[f(x) \exp(-i\omega t) \vec{u}_y]$  du champ électrique dans un métal réel occupant le demi espace  $x > 0$  et vérifiant  $\vec{E}(0, t) = E_m \cos(\omega t) \vec{u}_y$  en  $x = 0$ .
7. Définir un plasma et établir la relation constitutive reliant  $\vec{j}$  (en précisant toutes les hypothèses de travail) et  $\vec{E}$  (en notation complexe et en régime sinusoïdal forcé) avec toutes les hypothèses. En déduire l'expression de la conductivité complexe  $\underline{\gamma}$ .
8. Connaissant la relation  $\vec{j} = \underline{\gamma} \vec{E}$  et l'expression de  $\underline{\gamma}$  (donnée), établir la relation de dispersion reliant  $k$  et  $\omega$  dans le plasma. Expression de la pulsation de plasma  $\omega_p$ .
9. Définir les vitesses de phase et de groupe. Expliquer la signification de la vitesse de phase et de la vitesse de groupe. Exemples dans un plasma et dans le vide.