

- 1) Équations de Maxwell en cours et en exercices
- 2) Toute la thermochimie en cours et en exercices.
- 3) Ondes électromagnétiques dans le vide. Réflexion sur un métal parfait. Onde stationnaire en cours et en exercices.

ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES DANS LE VIDE.

L'équations d'onde pour \vec{E} et \vec{B} dans une région vide de charges et de courants a été établie dans le chapitre sur les équations de Maxwell.

I. Ondes planes

- Définition d'une onde plane (OP).
- Solution générale de l'équation d'onde pour une onde plane dont les plans d'onde sont orthogonaux à Ox :

$$s(x, t) = f(x - vt) + g(x + vt)$$

où f et g sont deux applications de $\mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ quelconques, dérivables deux fois. La démonstration de cette relation est hors programme. Seule la vérification que cette forme est bien une solution a été faite.

- Interprétation des deux termes en tant qu'ondes planes progressives (OPP).
- Généralisation à une onde plane dont les plans d'onde sont orthogonaux à une droite orientée Δ de vecteur unitaire directeur \vec{u} :

$$s(M, t) = f(\vec{u} \cdot \vec{r} - vt) + g(\vec{u} \cdot \vec{r} + vt)$$

II. Onde plane progressive sinusoïdale ou harmonique (OPPS ou OPPH)

- Définition : $s(x, t) = S_m \cos(kx - \omega t + \varphi)$ avec $\omega = kv$. Double périodicité spatiale et temporelle : période temporelle T , longueur d'onde λ . Relation $\lambda = cT$.

- Fonction de phase $\Phi(x, t)$. Propagation de la phase. Vitesse de phase v_φ .
- Représentation complexe associée $\underline{s}(x, t)$. Cas général : vecteur d'onde $\vec{k} = k \vec{u}$ et

$$\underline{s}(M, t) = \underline{S}_m \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)] \quad \text{avec} \quad \underline{S}_m = S_m e^{i\varphi}$$

III. Cas des OPPS électromagnétiques

- Définition. Représentation complexe associée. Vecteurs amplitudes complexes $\underline{\vec{E}}_m$ et $\underline{\vec{B}}_m$.

$$\underline{\vec{E}}(M, t) = \underline{\vec{E}}_m \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)] \quad \text{et} \quad \underline{\vec{B}}(M, t) = \underline{\vec{B}}_m \exp[i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)]$$

- Règles de calcul avec les représentations complexes.
- Transposition des équations de Maxwell dans le vide dans le domaine complexe. Application : transversalité électrique et magnétique de l'onde; relation de structure de l'OPPS électromagnétique :

$$\vec{k} \cdot \underline{\vec{E}} = 0 \quad ; \quad \vec{k} \cdot \underline{\vec{B}} = 0 \quad \text{et} \quad \underline{\vec{B}} = \frac{\vec{k} \wedge \underline{\vec{E}}}{\omega} = \frac{\vec{u} \wedge \underline{\vec{E}}}{c}$$

- OPPS électromagnétique polarisée rectilignement : vecteur polarisation \vec{u}_p .

$$\underline{\vec{E}}(M, t) = E_m \vec{u}_p \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \varphi)$$

- OPPS électromagnétique polarisée circulairement : polarisations circulaires gauche et droite.
- Énergie d'une OPPS électromagnétique : $u_e = u_m$. Vecteur de Poynting.

IV. Réflexion sur un métal parfait

- Définition d'un métal parfait. Conséquences sur les grandeurs électromagnétiques.
- Relations de passage métal - vide.
- Réflexion d'une OPPS polarisée rectilignement sur un métal parfait : onde réfléchie.
- Onde résultante stationnaire. Définition générale d'une onde stationnaire. Nœuds et ventres de vibration.
- Vecteur de Poynting.
- Calcul du courant surfacique \vec{j}_S à la surface du métal.

QUESTIONS DE COURS

1. Établir les équations de d'Alembert pour \vec{E} et pour \vec{B} dans une région vide de charges et de courants.
2. Définir une onde plane, schéma à l'appui.
3. Vérifier que $s(x, t) = f(x-vt) + g(x+vt)$ est solution de l'équation de d'Alembert unidimensionnelle pour une onde plane scalaire dont les plans d'onde sont orthogonaux à Ox .
4. Définir une onde plane progressive sinusoïdale (OPPS). Expliciter la double périodicité temporelle et spatiale. Relation entre λ , T et v .
5. Opérations dans le domaine complexe. Application : montrer les transversalités électrique et magnétique de l'OPPS électromagnétique dans le vide et obtenir la relation de structure.
6. 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 Φ de la composante E_y par rapport à la composante E_x de \vec{E} .

7. 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} .