

Programme de colles de la semaine 15 (du 12 au 16 janvier)

Ondes électromagnétiques dans le vide

Les différents domaines de fréquence des ondes électromagnétiques, ordres de grandeur, applications.
Equations de Maxwell sans charges ni courants, équation de d'Alembert, vitesse de propagation dans le vide.

Forme générale d'une onde plane progressive monochromatique, notion de polarisation, action d'un polariseur sur une onde polarisée rectilignement, loi de Malus.

Notation complexe d'une onde plane progressive monochromatique, expressions des opérateurs vectoriels.
Application aux équations de Maxwell, structure d'une onde plane progressive monochromatique : caractère transverse, relation $\mathbf{B} = (\mathbf{k} \wedge \mathbf{E})/\omega$. Relation de dispersion $k = \omega/c$.

Déplacement d'énergie associé à la propagation d'une onde plane progressive monochromatique : expression du vecteur de Poynting $\mathbf{\Pi} = w\mathbf{c}\mathbf{u}$, expression de l'intensité (valeur moyenne de la norme du vecteur de Poynting) associée : $I = \varepsilon_0 c E_0^2/2$.

Modèle du conducteur parfait, conséquences sur \mathbf{E} , \mathbf{B} , \mathbf{j} et ρ dans le conducteur.

Réflexion d'une onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement sur un conducteur plan infini parfait en incidence normale, champs \mathbf{E} et \mathbf{B} associés à l'onde réfléchie. Structure d'onde stationnaire, décalage spatial des nœuds et des ventres pour \mathbf{E} et \mathbf{B} , valeur moyenne nulle du vecteur de Poynting.

Cavité 1D entre 2 plans conducteurs parfaits, conditions aux limites, quantification du vecteur d'onde et de la fréquence, modes propres.

Questions de cours :

1. Etablissement de l'équation d'onde pour \mathbf{E} et \mathbf{B} dans le vide sans charges ni courants, vitesse de propagation
2. Ecriture la plus générale d'une onde plane progressive monochromatique, notation complexe
3. Action d'un polariseur sur une onde polarisée rectilignement, loi de Malus
4. Opérateurs vectoriels pour une onde plane progressive monochromatique en notation complexe, justification pour l'opérateur divergence
5. Justifier le caractère transverse et la relation $\mathbf{B} = (\mathbf{k} \wedge \mathbf{E})/\omega$ pour une onde plane progressive monochromatique
6. Retrouver la relation de dispersion à partir de l'équation de d'Alembert
7. Justifier l'expression du vecteur de Poynting $\mathbf{\Pi} = w\mathbf{c}\mathbf{u}$ pour une OPPM
8. A partir de la relation précédente, retrouver $I = \varepsilon_0 c E_0^2/2$ et évaluer les champs \mathbf{E} et \mathbf{B} pour la lumière en provenance du soleil au niveau de la terre
9. Modèle du conducteur parfait, conséquences sur \mathbf{E} , \mathbf{B} , \mathbf{j} et ρ dans le conducteur
10. Réflexion d'une onde plane progressive monochromatique polarisée rectilignement sur un conducteur plan infini parfait en incidence normale, champs \mathbf{E} et \mathbf{B} associés à l'onde réfléchie, structure d'onde stationnaire

Ondes électromagnétiques dans les milieux conducteurs

Ondes électromagnétiques dans un plasma : conductivité complexe du plasma, équation de propagation, relation de dispersion. Pulsation plasma, comportement en dessous (onde évanescente) et au dessus (propagation sans atténuation) de cette pulsation. Ordres de grandeur pour l'ionosphère. Vitesse de phase et vitesse de groupe.

Ondes électromagnétiques dans un métal (conducteur ohmique) : approximation basse fréquence pour la conductivité et l'équation de Maxwell-Ampère, ordres de grandeur. Vecteur d'onde complexe, propagation avec atténuation. Epaisseur de peau, ordres de grandeur, vitesse de propagation, longueur d'onde. Calcul du champ magnétique. Calcul du vecteur de Poynting moyen en utilisant les complexes, puissance volumique absorbée par effet Joule.

Questions de cours :

1. Calcul et interprétation de la conductivité complexe du plasma
2. En partant des équations de Maxwell, établir l'équation de dispersion dans le plasma
3. A partir de l'équation de dispersion, établir la forme des solutions et interpréter
4. Vitesses de phase et de groupe dans un plasma
5. Préciser les approximations basse fréquence usuelles pour la propagation d'une onde dans un métal, indiquer les ordres de grandeur
6. En partant des équations de Maxwell, établir l'équation de dispersion dans un métal
7. Donner la forme des ondes (planes, progressives, monochromatiques, polarisées rectilignement) se propageant dans le métal en introduisant l'épaisseur de peau
8. Donner l'expression de l'épaisseur de peau dans un métal, discuter les ordres de grandeur selon la fréquence, expliquer l'influence de l'épaisseur de peau sur la résistance d'un fil conducteur en régime variable
9. A partir du champ électrique, calculer le champ magnétique associé à la propagation de l'onde dans le métal
10. Calculer le vecteur de Poynting moyen et la puissance volumique moyenne cédée au métal par l'onde