

ONDES : COURS et EXERCICES

OD1 : Phénomènes de propagation, Équation de d'Alembert

OD2 : Cordes vibrantes

OD3 : Ondes électromagnétiques dans le vide illimité

Structure d'une onde électromagnétique dans le vide illimité (OPP)

- ✓ Transversalité et orthogonalité des champs
- ✓ Relation de structure
- ✓ OPPM, relation de dispersion

Polarisation

- ✓ Définition, polarisation elliptique, rectiligne, circulaire gauche et droite.
- ✓ Lames retard : Propagation dans les milieux LHI d'indice n (résultat admis) : on remplace c par c/n et donc k_0 par nk_0, \dots , lames $\lambda/2$ et $\lambda/4$. Effets sur les différentes polarisations.

Représentation complexe

- ✓ Nouvelle écriture des opérateurs différentiels, nouvelle écriture des équations de Maxwell,
- ✓ polarisation

Approche énergétique

- ✓ Densité d'énergie électromagnétique u_{em} , vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$ dans le cas d'une $OPP(\pm)$, relation $\vec{\Pi} = u_{em}c\vec{u}$.
- ✓ Densité d'énergie électromagnétique, vecteur de Poynting dans le cas d'une $OPPM(\pm)$, valeurs moyennes (temporelles).
Utilisation des grandeurs complexes $\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}^*}{2\mu_0}$ et $u_{em} = \frac{\varepsilon_0 \vec{E} \cdot \vec{E}^*}{4} + \frac{\vec{B} \cdot \vec{B}^*}{4\mu_0}$ pour accéder directement aux valeurs moyennes.
- ✓ Vitesse de propagation de l'énergie électromagnétique.
- ✓ Approche corpusculaire : $\langle u_{em} \rangle = n(h\nu)$ et $\langle P \rangle = \langle \Pi \rangle S = D_\gamma \times (h\nu)$ où D_γ est le débit de photons à travers S .

OD4 : Absorption - Dispersion

1. Exemple : ligne bifilaire avec pertes.
2. Recherche d'onde pseudo-progressive (vecteur d'onde complexe), relation de dispersion, notion d'absorption et de dispersion.
3. Rappels sur la décomposition en série de Fourier d'une fonction périodique, transformée de Fourier d'une fonction non périodique.
4. Paquet d'onde :
 - ✓ Extension temporelle et spatiale limitée d'une onde réelle.
 - ✓ Construction d'un paquet d'onde connaissant le signal à $t=0$ ou connaissant le signal en $x=0$ (Transformées de Fourier)
 - ✓ Exemples de paquet d'onde (et représentation des spectres) : signal rectangulaire en $x=0$; Train d'onde à $t=0$, gaussienne.

5. Évolution d'un paquet d'onde :

- √ Étude d'un cas simple : Signal comportant deux fréquences voisines, vitesse de phase, vitesse de groupe.
- √ Évolution d'un paquet d'onde dans un milieu peu dispersif et dans un milieu dispersif, vitesse de phase, vitesse de groupe.

OD5 : Ondes électromagnétiques dans un milieu matériel

Propagation d'une onde électromagnétique dans un plasma

- √ Définition d'un plasma, hypothèses.
- √ Conductivité complexe, équations de Maxwell, équation de propagation, relation de dispersion.
- √ Permittivité relative, indice.
- √ Cas où $\omega > \omega_p$, cas où $\omega < \omega_p$
- √ Graphes donnant l'évolution des différentes grandeurs ($k', k'', \varepsilon'_r, \varepsilon''_r, n_r, n_e$) en fonction de ω .
- √ Application à l'ionosphère.

Propagation d'une onde électromagnétique dans un conducteur

- √ Rappels : modèle de Drude, hypothèses.
- √ Conductivité complexe, équations de Maxwell, équation de propagation, relation de dispersion.
- √ Permittivité relative, indice.
- √ Cas où $\omega\tau \ll 1$: Effet de Peau ; Cas où $\omega\tau \gg 1$: Plasma.
- √ Graphes donnant l'évolution des différentes grandeurs ($k', k'', \varepsilon'_r, \varepsilon''_r, n_r, n_e$) en fonction de ω .

Propagation d'une onde électromagnétique dans un diélectrique

- √ Notion de densité de charges liées, lien avec la polarisation du milieu (les relations faisant intervenir P doivent être données). LHI, DLHI, DLHI parfait.
- √ Équations de Maxwell dans les DLHI, équation de propagation, relation de dispersion.
- √ Susceptibilité, permittivité, indice.
- √ Mécanisme de la polarisation électronique avec le modèle de Thomson. Graphes donnant l'évolution des différentes grandeurs ($k', k'', \varepsilon'_r, \varepsilon''_r, n_r, n_e$) en fonction de ω en ne considérant que la polarisation électronique. Zone de transparence, zone d'absorption, formule de Cauchy.

Les phénomènes de réflexion et transmission n'ont pas encore été vus.