

PHYSIQUE DES ONDES 2 :

ONDES ELECTROMAGNETIQUES

PO4 : ONDES ELECTROMAGNETIQUES DANS LE VIDE

1. Equation de d'Alembert 3D

- 1.1. *Spectre électromagnétique. Applications.*
- 1.2. *Les 2 équations couplant \vec{E} et \vec{B}*
- 1.3. *Les équations de d'Alembert 3D pour \vec{E} et \vec{B}*

2. Ondes électromagnétiques planes progressives harmoniques

- 2.1. *L'onde électromagnétique plane progressive harmonique : solution élémentaire de l'équation de d'Alembert 3D.*
- 2.2. *Utilisation de la notation complexe*
- 2.3. *Caractère transversal de l'onde électromagnétique plane progressive*
- 2.4. *Relation de structure pour une onde électromagnétique plane progressive*
- 2.5. *Bilan : structure d'une onde électromagnétique plane progressive.*
- 2.6. *Polarisation d'une onde électromagnétique plane progressive harmonique*
- 2.7. *Cas de la polarisation rectiligne*
- 2.8. *Polarisation rectiligne par dichroïsme*

3. Aspects énergétiques de la propagation des ondes électromagnétiques

- 3.1. *Grandeurs énergétiques associées à une onde plane progressive (harmonique)*
- 3.2. *Analyse d'une lumière polarisée rectilignement : loi de Malus.*
- 3.3. *Onde ou corpuscule ?*
- 3.4. *Quelques ordres de grandeur usuels de flux surfaciques moyens et de champs Electriques*

CAPACITES EXIGIBLES :

- Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications.
- Établir les équations de propagation de \vec{E} et \vec{B} .
- Utiliser le principe de superposition des ondes planes progressives harmoniques.
- Utiliser la notation complexe. Représenter le trièdre $(\vec{u}, \vec{E}, \vec{B})$. Établir la relation entre les amplitudes des champs.
- Utiliser le principe de superposition d'ondes planes progressives harmoniques.
- Identifier l'expression d'une onde électromagnétique plane progressive polarisée rectilignement.
- **Utiliser des polariseurs et étudier quantitativement la loi de Malus.**
- Associer la direction du vecteur de Poynting et la direction de propagation de l'onde. Associer le flux du vecteur de Poynting à un flux de photons en utilisant la relation d'Einstein-Planck.

- Citer quelques ordres de grandeur de flux énergétiques surfaciques moyens (laser hélium-néon, flux solaire) et les relier aux ordres de grandeur des champs électriques associés.

PO5 : ONDES ELECTROMAGNETIQUES TRANSVERSES

DANS LES PLASMAS DILUES

1. Conductivité complexe des plasmas dilués

- 1.1. *Hypothèses du modèle*
- 1.2. *Conductivité complexe*
- 1.3. *Conductivité imaginaire pure : absence d'absorption.*

2. Propagation d'une onde électromagnétique plane progressive sinusoïdale transverse électrique dans un plasma dilué

- 2.1. *Onde TE : neutralité locale.*
- 2.2. *Structure de l'onde*
- 2.3. *Equation de propagation linéaire d'une onde harmonique. Pulsation plasma.*
- 2.4. *Relation de dispersion des OPPH TE*

3. Domaine de transparence Haute Fréquence

- 3.1. *Dispersion et vitesse de phase. Indice de réfraction.*
- 3.2. *Champ électromagnétique*
- 3.3. *Propagation de l'énergie dans un milieu transparent*
- 3.4. *Propagation d'un paquet d'ondes électromagnétiques TE dans un plasma HF. Vitesse de groupe.*
- 3.5. *Lecture de la courbe $\omega(k)$*

4. Domaine opaque Basse Fréquence (domaine réactif)

- 4.1. *Distance d'atténuation*
- 4.2. *Atténuation sans propagation : onde évanescente.*
- 4.3. *Réflexion totale*

5. Télécommunications et ionosphère : quelques idées.

CAPACITES EXIGIBLES :

- Décrire le modèle de la conduction électrique dans un plasma. Construire une conductivité complexe en justifiant les approximations.
- Associer le caractère imaginaire pur de la conductivité complexe à l'absence de puissance échangée entre le champ et les porteurs.
- Établir la relation de dispersion dans le plasma.
- Identifier une onde évanescente (onde stationnaire spatialement amortie).
- Expliquer la notion de fréquence de coupure et donner son ordre de grandeur dans le cas de l'ionosphère.

PO6 : EFFET DE PEAU DANS LES METAUX.

REFLEXION METALLIQUE.

1. Effet de peau dans les métaux

- 1.1. *Conductivité d'un métal à « basse fréquence »*
- 1.2. *L'ARQS magnétique dans les métaux.*
- 1.3. *Equation de diffusion du champ magnétique*
- 1.4. *Relation de dispersion d'une OPPH*. Profondeur de peau.*
- 1.5. *Champ magnétique*
- 1.6. *Champ électrique et densité de courant*
- 1.7. *Neutralité des métaux et équation de diffusion du champ électrique*
- 1.8. *Interprétation énergétique de l'atténuation : absorption.*
- 1.9. *Ordres de grandeur. Cas du cuivre à 50 Hz. Conséquences pratiques.*

2. Le modèle du conducteur parfait

- 2.1. *Définition et conséquences du modèle*
 - Champ électromagnétique dans le volume d'un conducteur parfait
 - Charges et courants surfaciques
- 2.2. *Conditions de raccordement du champ électromagnétique à la surface d'un conducteur parfait.*

3. Réflexion d'une onde électromagnétique plane progressive harmonique polarisée rectilignement sous incidence normale sur un plan conducteur parfait.

- 3.1. *Nécessité d'une onde réfléchie.*
- 3.2. *Les 2 ondes incidente et réfléchie. Exploitation de la condition aux limites sur \vec{E} .*
- 3.3. *Superposition des deux ondes incidente et réfléchie : création d'une onde stationnaire.*
- 3.4. *Courants surfaciques induits à la surface du conducteur*
- 3.5. *Pression de radiation*
- 3.6. *Coefficient de réflexion en puissance. Réflexion totale.*

CAPACITES EXIGIBLES :

- Repérer une analogie formelle (cas d'une onde électromagnétique dans un métal BF) avec les phénomènes de diffusion. Établir la relation de dispersion.
- Associer l'atténuation de l'onde à une dissipation d'énergie.
- Citer l'ordre de grandeur de l'épaisseur de peau du cuivre à 50 Hz.
- Justifier que les champs électrique et magnétique sont nuls dans le conducteur (parfait).
- Interpréter le vecteur densité de courant surfacique comme un modèle pour décrire un déplacement de charges à travers un domaine d'épaisseur faible devant l'échelle de description.
- Utiliser les relations de passage fournies.
- Exploiter la continuité de la composante tangentielle du champ électrique pour justifier l'existence d'une onde réfléchie et calculer celle-ci.
- Calculer le champ magnétique dans le vide. En déduire le courant surfacique sur le conducteur.
- Calculer le coefficient de réflexion en puissance.
- Déterminer la pression de radiation à l'aide de l'expression fournie de la force de Laplace.