

LP28: Ondes EM dans les milieux diélectriques

April 30, 2014

Niveau L2 On se restreint aux milieux polarisés, on ne traite pas les milieux aimantés (comme ce qui est fait dans les livres de prépa)

Définition d'un milieu diélectrique comme milieu isolant

Biblio

- Sanz PC-PSI
- La physique par les objets du quotidien
- Hprépa Ondes 2ème année
- Ondes EM / relativité / cours BOK-HULIN-JUNG
- Un livre d'optique sur la fibre optique dont j'ai oublié le nom, demandez-moi à la BU...

1 Polarisation d'un milieu matériel

1.1 Vecteur \mathbf{P} (définition de \mathbf{p} , \mathbf{P})

Définition milieu isolant. Charges liées mais pas immobiles. Polarisation du milieu. Pour étudier les propriétés macroscopiques d'un milieu diélectrique, il faut moyenner à l'échelle méso les dipôles qui apparaissent à l'échelle micro. Définition de \mathbf{P} , unité.

1.2 Charges et courants liés (qualitatif)

Définition des courants et charges liés.

2 Réponse d'un diélectrique à un champ oscillant

2.1 Cadre d'étude

- Hypothèses: pas de charge libre (diélectrique parfait), milieu peu dense (interactions entre dipôles négligées), milieu non polaire (on ne considère que les dipôles induits)

- Modèle de l'électron élastiquement lié. PFD appliqué à l'électron.

2.2 Relation entre P et E

Notation complexe. P proportionnel à E. Définition de la susceptibilité. Représentation de sa partie réelle et de sa partie imaginaire.

2.3 Interprétation physique de la susceptibilité

2.3.1 Différents types de polarisation

3 domaines (courbe sur transparent): polarisation d'orientation, ionique, électronique. Expliquer l'origine microscopique.

2.3.2 Application aux microondes

Principe du chauffage par un four à microondes.

3 Propagation d'une onde EM dans un DLHI

3.1 Définition d'un DLHI

Définir chaque terme.

3.2 Equation de Maxwell

Equations de Maxwell dans un DLHI. Passer en complexe + solutions OPPH pour obtenir la structure de l'onde. Bilan: même forme que dans le vide, en remplaçant ε_0 par $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$.

3.3 Equation de propagation

Exprimer le rotationnel du rotationnel de E. Equation de propagation.

3.4 Relation de dispersion

Equation de propagation en notation complexe: on obtient la relation de dispersion. Poser la permittivité sous la forme "réel + i imaginaire". De même pour le vecteur d'onde. Trouver k' et k'' en fonction de ε_r' et ε_r'' .

3.5 Aspect énergétique: vecteur de Poynting

Champs complexes. Trouver B avec la relation de structure. Pour calculer le vecteur de Poynting, repasser en notation réelle. Calculer la moyenne de ce vecteur. Retrouver l'équation de Poynting. On retrouve le fait que $\chi'' \neq 0 \Leftrightarrow$ absorption d'énergie, et P et E déphasés.

4 Application: la fibre optique

Définition de l'atténuation et causes: atténuations intrinsèques à la fibre et jonction entre fibres. Impuretés: donnent lieu à de la diffusion Rayleigh et à des pertes par absorption (les impuretés absorbent de l'énergie => grande atténuation de la puissance).

4.1 Absorption par l'eau

Traces d'eau. Fréquence de vibration de la liaison OH et eau-SiO₂. ODG de l'atténuation linéique pour 1 ppm de molécules d'eau. ODG de la puissance de sortie pour une puissance d'entrée donnée et une atténuation linéique donnée.

4.2 Absorption par les métaux

Présence de métaux, même en faible quantité: absorbe énormément (2000 dB / km). D'où la nécessité de fabriquer des fibres pures.

5 Conclusion

Ouverture sur les milieux diélectriques non linéaires (effet Kerr optique) et anisotropes (effet Faraday, effet Pockels, effet électrooptique).

6 Questions

- A quoi ressemble une onde EM dans un diélectrique? A-t-on une OPPH? Non sauf si $k''=0$. Y a-t-il de la dispersion? oui
- Quels effets associés à la dispersion? l'indice dépend de la longueur d'onde.
- Relation entre l'indice et la permittivité diélectrique? $n^2 = \epsilon_r$
- Zones d'absorption / de transparence?
- si le vecteur d'onde est complexe, k' et k'' caractérisent quoi? k' = propagation, k'' = absorption / atténuation. Attention à la confusion entre les 2.
- Milieux anisotropes: effet Faraday: il est induit. Mais il existe des milieux qui sont naturellement anisotropes, comme le quartz. Cela se traduit par quel phénomène? la biréfringence.
- Diffusion Rayleigh à revoir.
- Force de rappel de l'électron élastiquement lié: elle vient d'où? cf les commentaires.

- En se plaçant en notation complexe, quel régime étudie-t-on? Le régime sinusoïdal, pas le transitoire.
- Polarisation d'orientation: modèle de l'électron élastiquement lié pour la décrire? non, modèle de Debye.
- Théorie plus complexe pour déterminer la susceptibilité χ ? Théorie de Kubo.
- Relations de Kramers Krönig? Relient la partie réelle et la partie imaginaire de la susceptibilité.

7 Commentaires

- dynamique: très positif, rapide, clair (oral et tableau), forme OK
- souci de faire des ODG, mais faire des ODG pertinents
- parler de dispersion (ça manque dans cette leçon)
- distinguer atténuation / absorption avec l'aspect énergétique : OK. Ne pas forcément l'évoquer.
- Ordre plan gênant: on parle des zones de transparence / d'absorption et ensuite de la propagation, ça pose pb . Il faut parler de la propagation avant. Faire le II sans expliciter la susceptibilité complexe. Traiter la propagation. Puis relation dispersion : on remarque qu'elle est différente que celle dans le vide. On pose la susceptibilité sous la forme "partie réelle + i partie imaginaire". Faire l'étude de la susceptibilité. Voir l'influence de la susceptibilité sur la propagation.
- Pb: on attend 24 min pour entendre parler de propagation. Y venir plus vite et faire la discussion sur la susceptibilité réelle / complexe après.
- Dispersion: c'est central. En parler.
- Parler d'indice optique. C'est central. Eventuellement montrer la loi de Cauchy.
- Théorie de Kubo: se renseigner.
- INSISTER: décrire la propagation des ondes dans un dlhi. Ce n'est pas une OPPH qui se propage, sauf si le milieu est transparent. Si k'' non nul, ce n'est pas une OPPH.
- Partie à enlever: Poynting car pas d'intérêt. On ne fait que remplacer \vec{j} par $\frac{\partial \vec{P}}{\partial t}$ au final, donc pas besoin de redémontrer la formule de Poynting dans un dlhi en partant de l'expression du vecteur de Poynting (dem analogue à la formule de Poynting dans un milieu parcouru par des courants).

- Fibre optique: pb: pas trop de physique. Plutôt redémontrer la loi de Cauchy.
- Interface entre 2 dlhi : plein de choses à faire à ce niveau. Pb: “interface” limite hors-sujet car sujet = “dans” les milieux. Mais il y a quand même plein de physique à faire de ce côté.
- Calcul de B incorrect, oubli d’un terme.
- Grandeurs complexes: mettre les barres.
- Certains ODG pas intéressants. Plutôt que les ODG de ε_r dans différents matériaux, il aurait fallu donner celui de l’eau à différentes fréquences.
- II: l’hypothèse de milieu non polaire ne doit pas être mise au début du II car dans le II on parle aussi de la polarisation d’orientation (pour laquelle on considère des moments permanents) Ne pas faire cette hypothèse en début de partie mais plutôt seulement au II)1) (ça ne s’applique qu’aux 1) et 2)).
- Interprétations de la force de rappel dans le modèle de l’électron élastiquement lié: deux possibilités:
 1. Potentiel de Lennard-Jones + approximation potentiel harmonique autour de l’équilibre
 2. Modèle de Thomson + théorème de Gauss
 - Dans le PFD (électron élastiquement lié) , l’excitation s’écrit $E_0 \cos(\omega t)$: on a négligé le k.r de $E_0 \cos(\omega t - k.r)$ car l’atome est de taille très inférieure à la longueur d’onde du champ: le champ paraît uniforme à l’échelle de l’atome. C’est une des hypothèses du modèle de l’électron élastiquement lié. C’est d’ailleurs noté dans le Sanz.
 - Attention pour la susceptibilité: ne pas dire “matrice réelle symétrique donc diagonalisable” car justement la susceptibilité n’est pas réelle. Mais elle est diagonalisable. Ou alors elle est diagonalisable dans le cas réel et on généralise au cas où elle est complexe. Regarder dans le Pérez d’optique.
 - Rq: dans les microondes, ne pas mettre de métal, mais pas parce que ça absorbe beaucoup, c’est parce qu’il y a des risques de formation d’arcs électriques donc d’explosion.