

Réflexion sous incidence normale d'une OPPH sur un plan conducteur parfait

Pourquoi les métaux brillent-ils ? Comment fabrique-t-on un miroir ?

Énoncé détaillé



Modélisation

On considère une onde plane progressive harmonique polarisée selon \vec{e}_y se propageant dans le sens des x croissants dans le demi-espace $x < 0$. Le demi-espace $x > 0$ est occupé par un conducteur parfait.

On admet la continuité du champ électrique à l'interface air/métal.

1) Préambule : conducteur parfait

L'hypothèse « **conducteur parfait** » signifie que la conductivité σ du milieu peut être considérée comme infinie (modèle) : $\sigma \rightarrow \infty$.

Cette hypothèse a des conséquences importantes.

- En utilisant la loi d'Ohm locale et l'expression de la puissance volumique transférée aux porteurs de charges par le champ électromagnétique, montrer que le champ électrique est nécessairement nul à l'intérieur du conducteur.
- En utilisant l'équation de Maxwell-Faraday, justifier que le champ magnétique est nécessairement statique (indépendant du temps).

Comme on s'intéresse dans ce problème à une *onde* (champs variables dans le temps), on admettra que le champ magnétique est également nul dans le conducteur.

On notera que dans les *supraconducteurs*, le champ magnétique est nul (effet *Meissner* : lorsqu'un conducteur passe de l'état normal à l'état supraconducteur, les lignes de champ magnétiques sont expulsées de sorte que le champ magnétique devient nul à l'intérieur du supraconducteur).

- En utilisant l'équation de Maxwell-Ampère, justifier que les courants électriques volumiques sont nécessairement stationnaires.

Pour la même raison qu'en b), on les considérera également nuls.

Admis : les seuls courants qui peuvent dépendre du temps sont des courants *surfiques* (courants localisés sur l'interface air/métal, modélisation hors programme).

2) Onde résultante

- Compte tenu des hypothèses, donner les expressions des champs électrique \vec{E}_i et magnétique \vec{B}_i incidents.
- Faire un schéma dans le plan (xOy) : représenter les deux champs précédents, le vecteur d'onde et ajouter toutes les informations issues du préambule.
- En utilisant la continuité du champ électrique à l'interface air/métal (en $x = 0$), montrer qu'il existe nécessairement une onde réfléchie \vec{E}_r : représenter ce champ sur le schéma et donner son expression (problème déjà rencontré lors de l'étude de la propagation des ondes sur une corde constituée de deux brins de masses linéiques différentes reliées en un point).

Justifier l'aspect brillant d'un tel métal ainsi que l'effet miroir.

Physiquement, l'onde incidente met en mouvement les charges en *surface* du conducteur (d'où l'existence de courants surfiques). Ces charges en mouvement émettent à leur tour un champ électrique qui compense, à l'intérieur du conducteur, le champ incident : il a donc même amplitude que celui-ci mais est en opposition de phase. À l'extérieur, il a les mêmes caractéristiques mais il se propage vers les x décroissants, la somme des deux champs à l'extérieur n'est donc pas nulle puisqu'ils se propagent en sens inverse (cf. schéma).

- En déduire le champ magnétique \vec{B}_r associé et le représenter sur le schéma.
Remarque : dans ce problème, le champ magnétique n'est donc pas nul à l'interface contrairement au champ électrique. Ceci est précisément dû à la présence de courants surfiques à l'interface comme évoqué en 1.c) et 2c).
- Écrire les champs électromagnétiques dans le milieu $x < 0$ et montrer que ces champs ont une structure d'onde stationnaire.
- La relation de structure est-elle vérifiée pour ces champs ? Pourquoi ?
- Déterminer les coefficients de réflexion en amplitude r_E et r_B pour le champ électrique et pour le champ magnétique. Commenter le signe de r_E .

L'existence de ce déphasage lors d'une réflexion métallique sera mentionné dans le cours d'optique.

3) Étude énergétique

- Établir l'expression du vecteur de Poynting en tout point $x < 0$. Que peut-on dire de sa valeur dans les plans nodaux des champs électrique ou magnétique ?
- Exprimer la valeur moyenne temporelle du vecteur de Poynting en tout point $x < 0$ et commenter.
- Exprimer la valeur moyenne temporelle de la densité volumique d'énergie électromagnétique en tout point $x < 0$. Commenter.