TD 6

Vitesse de propagation de l'énergie d'une onde plane progressive monochromatique, onde en propagation guidée, réflexion sur un miroir parfaitement conducteur, pression de radiation.

Exercice 1 Vitesse de propagation de l'énergie

Soit un champ électrique d'une onde plane progressive monochromatique, d'amplitude E_0, de pulsation ω, de vecteur d'onde k se propageant selon Oz et polarisée rectiligne selon Ox.

1.1. Ecrire l'expression du champ électrique $\vec{E}$

1.2. Déterminer la valeur moyenne de la densité volumique d'énergie électromagnétique en un point de l'espace ;

1.3. Déterminer la valeur moyenne du vecteur de Poynting ;

1.4. Déterminer la valeur moyenne de l'énergie sur un volume élémentaire $dxdydz$;

1.5. Déterminer le flux d'énergie à travers la surface $dS=dxdy$ pendant le temps dt ; 1.6. En déduire la valeur de la vitesse de propagation de l'énergie électromagnétique. Commenter.

Exercice 2 Propagation guidée

Soit un champ électrique d'une onde, donné par :

$\vec{E}=E_0\cos(\alpha z)\sin(\omega t-kx).\vec{u_y}$

2.1. L'onde est-elle plane ? Progressive ? Monochromatique ? Justifier.

2.2. Déterminer le champ magnétique de cette onde.

2.3. Déterminer la relation de dispersion de cette onde.

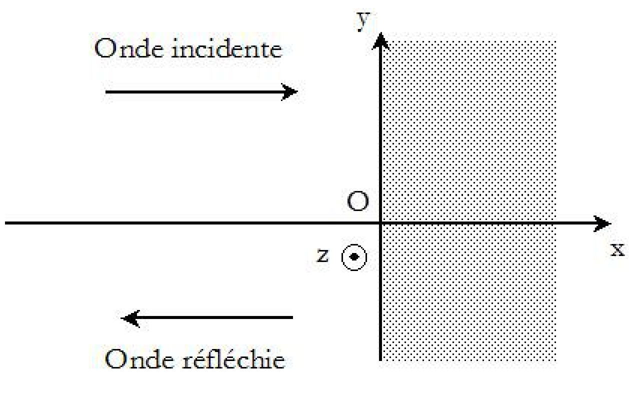
Exercice 3 Réflexion sur un conducteur parfait, pression de radiation

Une onde plane progressive monochromatique polarisée rectiligne se propage selon :

$\vec{E_i}=E_0 e^{j(\omega t-kx)}\vec{e_y}$

En $x=0$ elle arrive, selon la figure ci-dessous, sur la surface plane d'un miroir métallique parfaitement conducteur, dans lesquels on admet que les champs électriques et magnétiques sont nuls. La réflexion donne naissance à une onde réfléchie qui se propage dans les sens des x décroissants selon :

$\vec{E_r}=E_0 e^{j(\omega t+kx)}\vec{e_y}$



On admet que les conditions aux limites, en $x=0$ (dites conditions de passage) que doivent vérifier les champs sont les suivantes :

a. la composante tangentielle du champ électrique doit être continue ;

b. la composante normale du champ magnétique est continue ;
c. la composante normale du champ électrique est discontinue telle que :
$\vec{E}_{métal} - \vec{E}_{vide} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{e}_x$;
d. la composante tangentielle du champ magnétique est discontinue telle que :
$\vec{B}_{métal} - \vec{B}_{vide} = \mu_0 \vec{j}_s \wedge \vec{e}_x$.

Pour une démonstration,
http://res-nlp.univ-lemans.fr/NLP_C_M07_G01/co/Module_M07G01_12.html

3.1. En exploitant ces conditions de passage, déterminer l'amplitude E_{0r} du champ réfléchi ainsi que la charge surfacique σ et la densité surfacique $\vec{j}_s$ en $x=0$ **;**
3.2. Déterminer le champ électromagnétique total résultant de l'onde incidente et de l'onde réfléchie dans le demi-espace $x<0$. De quel type d'onde s'agit-il ?
3.3. Déterminer dans cette zone d'espace la valeur moyenne de son vecteur de Poynting.

On admet que le champ électromagnétique exerce sur une surface dS du miroir, une force élémentaire $\vec{dF}$ donnée par :

$$\vec{dF} = \frac{1}{2}(\sigma \vec{E} + \vec{j}_s \wedge \vec{B}) dS$$

3.4. En déduire que l'onde exerce une pression, dite de radiation, sur le miroir dont on déterminera la valeur moyenne, notée $\bar{P}$ en fonction de la densité volumique moyenne d'énergie de l'onde incidente puis en fonction de la densité volumique d'énergie totale au voisinage immédiat du plan ;
3.5. Application numérique : Calculer $\bar{P}$ pour une onde incidente délivrée par un laser de puissance moyenne $3 mW$ de section droite $S=0{,}4\, mm^2$.