

Dispersion, absorption, réflexion A. Spiga, Interrogation MP*, Lycée Condorcet

Conducteur infini (oral Polytechnique)

On s'intéresse à la propagation d'une onde électromagnétique dans un conducteur de conductivité γ ($\gamma \gg \epsilon_0 \omega$). On pose :

$$\vec{E} = \vec{E}(z)e^{-j\omega t} \quad \vec{B} = \vec{B}(z)e^{-j\omega t} \quad \delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \omega \gamma}}$$

1 Ecrire les équations de Maxwell en représentation complexe et former les équations différentielles vérifiées respectivement par le champ électrique $\vec{E}(z)$ et le champ magnétique $\vec{B}(z)$.

2 Montrer alors que si le conducteur s'étend jusqu'à l'infini dans les deux sens de Oz , alors l'onde ne peut pas se propager.

Miroir à atomes (tiré de *Olivier, Exercices et problèmes de physique 2ème année*)

On envisage le dispositif suivant : le demi-espace $z < 0$ est rempli d'un verre transparent d'indice n , alors que le demi-espace $z > 0$ est vide. Une onde électromagnétique plane progressive monochromatique polarisée rectilignement \vec{E}_i arrive sous incidence $i = -\pi/4$ sur l'interface verre-vide ; elle engendre une onde réfléchie \vec{E}_r sous un angle $r = +\pi/4$ et une onde transmise \vec{E} dans le vide. On donne la forme de toutes ces ondes (l'axe Ox est tangentiel à l'interface, et l'axe Oz est normal) :

$$\begin{aligned} \vec{E}_i &= E_{0i} \exp(j\omega t - j\vec{k}_i \cdot \vec{r}) \vec{u}_y & \text{avec} & \quad \vec{k}_i = \frac{n\omega}{c} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \vec{u}_x + \frac{\sqrt{2}}{2} \vec{u}_z \right) \\ \vec{E}_r &= E_{0r} \exp(j\omega t - j\vec{k}_r \cdot \vec{r}) \vec{u}_y & \text{avec} & \quad \vec{k}_r = \frac{n\omega}{c} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \vec{u}_x - \frac{\sqrt{2}}{2} \vec{u}_z \right) \\ \vec{E} &= E_0 \exp(-\frac{z}{\delta}) \exp(j\omega t - j\gamma x) \vec{u}_y & \text{avec} & \quad \gamma > 0, \delta > 0 \end{aligned}$$

1 En exprimant la relation de passage à l'interface verre-air (on rappelle qu'il s'agit de la continuité de la composante tangentielle du champ électrique), déterminer γ en fonction de n, ω et c .

2 Etablir l'équation de propagation du champ \vec{E} dans le vide. En déduire l'expression de δ en fonction de ω et c sachant que $n = \sqrt{3}$.

3 Que devient l'expression de \vec{E} dans l'approximation de l'optique géométrique ? Vérifier la pertinence du résultat avec les lois de Descartes de la réfraction. Indiquer le nom du phénomène observé et une application concrète de ce phénomène.

4 Déterminer le champ magnétique \vec{B} associé à \vec{E} en admettant que sa moyenne temporelle est nulle.

5 Déterminer le vecteur de Poynting correspondant et montrer que l'onde dans l'air ne prélève en moyenne temporelle aucune puissance sur les ondes se propageant dans le verre.

Envoi d'une onde radar dans l'atmosphère (inspiré de Feynman, *Electromagnétisme I*)

Le but est d'étudier la propagation d'une onde radio (envoyée du sol) dans l'ionosphère. L'ionosphère est une couche de l'atmosphère terrestre qui débute à 70 km du sol. C'est le produit de l'interaction de la haute atmosphère neutre avec l'ensemble des agents ionisants émis par le soleil. Elle est maintenue en permanence et de façon continue autour du globe. On peut l'assimiler à une couche de plasma d'ions et d'électrons.

Expliquer pourquoi :

- il faut utiliser des fréquences élevées si l'on veut communiquer avec un satellite dans l'espace.
- il faut utiliser des fréquences suffisamment basses si l'on veut communiquer avec une station radio située au dessous de l'horizon.

Vent solaire et forme de la magnétopause terrestre (niveau avancé, adapté d'un exercice de physique de l'atmosphère au niveau licence-maîtrise)

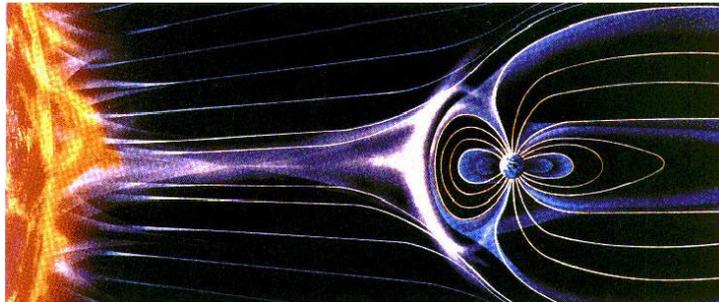


FIG. 1 – La Terre est soumise à un flux de particules en provenance du soleil appelé le vent solaire. Ce flux de particules interagit avec le champ magnétique terrestre et impose la géométrie de la magnétopause, frontière externe de ce champ magnétique.

Au niveau de la Terre, le vent solaire est principalement un plasma neutre, constitué de protons de vitesse 400 km/s (dirigée suivant les rayons prolongés du soleil vers l'extérieur), de température $10^5 K$ et de densité proche de 5 protons/cm^3 et d'électrons. En l'absence de vent solaire, le champ magnétique terrestre est analogue au champ d'un dipôle avec une valeur de $6 \cdot 10^{-5} T$ à la surface du globe.

1 - Notion de pression magnétique On se place dans le cas d'un milieu parfaitement conducteur constitué d'ions et d'électrons et on calcule l'équation du mouvement fluide (fluide signifie ici qu'on ajoute un terme ∇P , P étant la "pression" pour chacune des espèces au sein du plasma) pour les mouvements basse fréquence. On donne la loi (phénoménologique) d'Ohm locale :

$$\vec{j} = \gamma(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$$

Ecrire les équations décrivant les champs électrique et magnétique, ainsi que l'équation du mouvement pour les ions et les électrons [Les plasmas rencontrés dans l'environnement spatial (ionosphère, magnétosphère, vent solaire) sont toujours suffisamment dilués pour que chaque charge interagisse indépendamment avec une onde électromagnétique se propageant dans le milieu]. En supposant que les vitesses des électrons et des ions sont très proches, écrire l'équation du mouvement pour le plasma complet en fonction de \vec{j} , \vec{B} et P , puis uniquement en fonction de \vec{B} et P . Mettre en évidence un terme de pression magnétique et de tension magnétique.

2 - Trajectoires des particules du vent solaire On considère un modèle simple dans lequel la magnétopause constitue une frontière entre une zone externe où le champ magnétique est nul et la densité de particules celle du vent, et une zone interne dans laquelle la densité de particules est nulle et le champ magnétique non nul. Quelle est la trajectoire des particules du vent solaire lorsqu'elles rencontrent le champ terrestre ?

Pour un angle d'incidence par rapport à la normale à la magnétopause χ , quelle est la quantité de mouvement transférée à la magnétosphère par unité de temps et de surface ? En déduire le rayon de la magnétopause pour $\chi = 0$ en rayons terrestres.