

Questions de cours :

- 1 - Propagation d'une onde électromagnétique dans un conducteur ohmique - Effet de peau.
- 2 - Principales lois de l'électromagnétisme, hypothèses, énoncé et démonstrations.
- 3- Lois locales et intégrales de l'électrostatique. Démonstration de la capacité d'un condensateur plan assimilé à la superposition de deux plans infinis de charges opposées.

1 Électromagnétisme dans le vide

- 1 - Donner les équations de Maxwell vérifiées par les champs \vec{E} et \vec{B} dans le vide. En déduire l'équation de propagation vérifiée par le champ \vec{E} .
- 2- On considère un champ électromagnétique :

$$\vec{E} = E_o \cos(\omega t - kx) \vec{u}_z$$

Déduire de la question précédente la relation vérifiée par k . Comment s'appelle cette relation ?

- 3- Donner la direction et le sens de propagation de cette onde. À quelle vitesse se propage cette onde ?
- 4- Décrire la polarisation de cette onde. En pratique, comment peut-on modifier cette polarisation ?
- 5- Donner la relation entre \vec{E} et \vec{B} . Comment s'appelle cette relation ?
- 6- Donner l'expression du vecteur de Poynting en fonction de E_o notamment. Quelle est son unité ?
- 7- Proposer un ordre de grandeur pour le vecteur de Poynting associé au rayonnement d'un Laser utilisé en travaux pratiques. En déduire un ordre de grandeur du nombre de photons par unité de volume dans le faisceau.

2 Guide d'onde

Une onde électromagnétique se propage à l'intérieur d'un guide d'onde de section rectangulaire de longueurs a et b (voir figure ci-après), dont les parois sont parfaitement conductrices et dans lequel règne le vide. On donne l'expression du champ électrique :

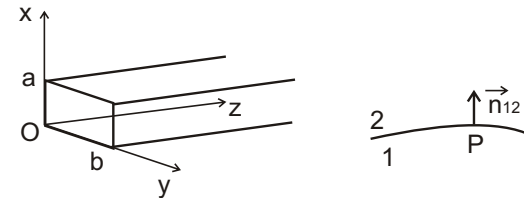
$$\vec{E} = E_o \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{j(\omega t - kz)} \vec{e}_y$$

- 1- Que vaut le champ électrique dans un conducteur parfait ?
- 2- On rappelle la relation de continuité vérifiée par le champ électrique en un point P à l'interface entre deux milieux (1) et (2) :

$$\vec{E}_2(P) - \vec{E}_1(P) = \frac{\sigma(P)}{\varepsilon_o} \vec{n}_{12}$$

Écrire cette relation sur les interfaces $x = 0$, $x = a$, $y = 0$, $y = b$. Commenter.

- 3- Déterminer l'expression du champ magnétique \vec{B} dans le guide.
- 4- Établir l'équation différentielle vérifiée par le champ électrique \vec{E} . En déduire la relation de dispersion. À quelle condition sur ω l'onde peut-elle se propager ?
- 5- Déterminer l'expression du vecteur de Poynting moyen. En déduire l'expression de la puissance moyenne rayonnée à travers une section.

**3** Plasma

On étudie la propagation d'une onde électromagnétique dans un plasma.

- 1- Exposer brièvement les principales hypothèses intervenant dans l'étude de la propagation dans un plasma.
- 2- On donne :

$$\frac{\partial \vec{j}}{\partial t} = \varepsilon_o \omega_p^2 \vec{E}$$

Établir l'équation de propagation vérifiée par le champ \vec{E} .

- 3- On cherche \vec{E} sous la forme d'une OPPM $\vec{E}_o e^{j(\omega t - kz)}$. En déduire la relation de dispersion dans le plasma.
- 4- On se place dans le cas $\omega < \omega_p$, on suppose que le plasma est compris entre deux plans d'équations $z = 0$ et $z = d$. Pour $z < 0$ et $z > d$ l'onde se propage dans le vide, dans la zone $z < 0$, le champ électrique s'écrit :

$$\vec{E} = E_o e^{i(\omega t - kz)} \vec{u}_x$$

Donner l'expression du champ \vec{E} dans les zones $0 < z < d$ et $d < z$ en introduisant des constantes que l'on ne cherchera pas à déterminer dans un premier temps.

5- Comment déterminer les différentes constantes?

4 Conducteur

On considère une onde qui se propage dans le vide (domaine $y < 0$) avec :

$$\vec{E} = E_0 e^{i(\omega t - ky)} \vec{u}_z$$

Le demi-espace $y > 0$ est constitué d'un milieu conducteur homogène de conductivité γ .

1- Pour $y > 0$, on écrit :

$$\vec{E} = E_0 e^{i\omega t} f(y) \vec{u}_z$$

Déterminer la fonction $f(y)$.

2- On considère un parallélépipède de conductivité γ de longueur a selon x , b selon z et de dimension L très grande suivant y . L'expression de \vec{E} trouvée à la question précédente est toujours valable. Déterminer la puissance moyenne dissipée par effet Joule par le conducteur.

5 Polarisation

On donne l'expression du champ électrique d'une onde électromagnétique se propageant dans le vide :

$$E_x = E_{xm} \cos(\omega t - kz) ; E_y = E_{ym} \cos(\omega t - kz - \phi)$$

1- Quelle est la direction de propagation de cette onde? Justifier que $E_z = 0$.

2- Étudier la polarisation de cette onde pour $\phi = 0$ et $\phi = \pi/2$. À quelle condition obtient-on une polarisation circulaire?

3- Un dispositif expérimental non étudié ici permet d'obtenir une onde polarisée circulairement. On place successivement sur un axe un polariseur de direction de polarisation \vec{u}_x et un analyseur incliné d'un angle α par rapport au polariseur. Écrire le champ électrique et le vecteur de Poynting moyen dans les différentes zones délimitées par le polariseur et l'analyseur.

6 Téléphonie

En enroulant un téléphone portable dans une simple feuille d'aluminium, peut-on encore recevoir des appels? Vous répondrez à la question en calculant la puissance transmise par le téléphone à travers la feuille d'aluminium.

Données :

- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{H.m}^{-1}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{m.s}^{-1}$
- $M(\text{Al}) = 27 \text{g.mol}^{-1}$, $\mu(\text{Al}) = 2,7 \text{g.cm}^{-3}$, $\gamma(\text{Al}) = 10^7 \text{S.m}^{-1}$
- Épaisseur d'une feuille d'aluminium : environ $20 \mu\text{m}$.