

Révisions 10

Ondes électromagnétiques

Exercice 1

Un laser émet en continu, avec une puissance de 10 W, une onde plane d'étendue transversale de 1 mm². Calculer les amplitudes des champs électrique et magnétique.

Exercice 2

Une OPPH se propage dans le vide, le champ électrique est de la forme :

$$\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - kx) \vec{u}_y + E_0 \sin(\omega t - kx) \vec{u}_z$$

1. Dans quelle direction et dans quel sens se propage-t-elle ?
2. Expliciter le champ magnétique $\vec{B}$.
3. Calculer le vecteur de Poynting.
4. Quelle est sa polarisation ?

Exercice 3

On place deux plaques de métaux parfaits en $x = 0$ et $x = L$. Existe entre ces deux plaques une onde électromagnétique de champ électrique $\vec{E}$ polarisé suivant $\vec{e}_z$:

$$\vec{E} = [A \exp(i(\omega t + kx)) + B \exp(i(\omega t - kx))] \vec{e}_z$$

1. Comment qualifier cette onde ? Quelle est la valeur de $\vec{E}$ dans les conducteurs parfaits ?
2. Quelle est la valeur de $\vec{E}$ en $x = 0$ et en $x = L$? En déduire une relation entre k et n un entier. En déduire la fréquence f_n en fonction de n et de f_1 .

Exercice 4

Soit un milieu contenant des charges $+q$ et $-q$, de permittivité ϵ_0 , occupant tout le demi-espace $x > 0$. Les charges $+q$ ont une densité volumique :

$$n_+(x) = n_0 \exp\left(\frac{-qV(x)}{k_B T}\right)$$

Les charges $-q$ ont une densité volumique :

$$n_-(x) = -n_0 \exp\left(\frac{+qV(x)}{k_B T}\right)$$

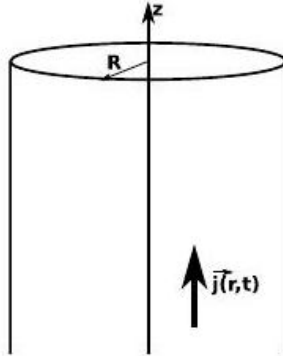
On accole à ce milieu un conducteur parfait de potentiel V_0 occupant le demi-espace $x < 0$.

1. Donner des éléments pour justifier les expressions ci-dessus.
2. Appliquer le théorème de Gauss à un cylindre d'axe (Ox) et de hauteur dx pour trouver l'équation différentielle vérifiée par le potentiel.
3. Dans l'hypothèse où $\frac{qV(x)}{k_B T} \ll 1$, déterminer l'expression du potentiel.
4. Déterminer σ , la densité surfacique de charge à la surface du conducteur.

Rappel : Quand on change de milieu, la composante tangentielle du champ électrique reste inchangée tandis que sa composante normale subit au changement de milieu une variation de σ/ϵ_0 .

Exercice 5

Un fil conducteur ohmique considéré comme un cylindre infini d'axe (Oz) , de rayon $R = 2,5 \cdot 10^{-4}$ m et conductivité $\gamma_0 = 5,80 \cdot 10^7$ S.m $^{-1}$ est parcouru par une densité volumique de courant $\vec{j} = j(r) \exp(i\omega t) \vec{e}_z$. Le régime est lentement variable.



La permittivité du vide $\varepsilon_0 = \frac{1}{36 \cdot \pi} \cdot 10^{-9}$ F · m $^{-1}$ et perméabilité du vide $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H.m $^{-1}$.

La formule du Laplacien en coordonnée cylindrique : $\Delta \vec{A} = \left(\frac{\partial^2 A_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial A_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 A_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial z^2} \right) \vec{e}_z$.

1. Donner les équations de Maxwell. Justifier les simplifications possible dans le cadre de l'ARQS dans un conducteur ohmique. (Utiliser des ordres de grandeur).
2. Etablir l'équation aux dérivées partielles vérifiées par $\vec{j}$.

La solution de cette équation est de la forme : $\vec{j} = j_R \cdot \exp\left(-(1+i) \frac{r\sqrt{\omega \cdot \gamma_0 \cdot \mu_0}}{\sqrt{2}}\right) \cdot \exp(i\omega t)$.

2. Que représente j_R ?
3. Exprimer δ profondeur de peau en fonction des paramètres du problème. Donner un sens physique à l'effet de peau.

Exercice 6

Considérons une onde électromagnétique dans un conducteur dont le champ électrique est de la forme :

$$\vec{E} = E_0 \exp(-az) \exp(j(\omega t - az)) \vec{e}_x$$

1. L'onde est-elle plane ? Quel est le sens et la direction de propagation de cette onde ? A quoi correspond a ?
2. Calculer le champ magnétique $\vec{B}$.
3. Calculer le vecteur de Poynting $\vec{R}$ et sa valeur moyenne.
4. Faire un bilan d'énergie sur un conducteur de section dS et d'épaisseur dz de conductivité γ .
5. Exprimer ce même bilan d'énergie avec la loi d'Ohm locale.
6. Quelle est la grandeur caractéristique δ associée à ω , μ_0 et γ ?

Exercice 7

1. Etablir l'équation de propagation du champ électrique $\vec{E}$ dans un conducteur ohmique de conductivité γ
2. Considérons une onde électromagnétique de champ $\vec{E}$ complexe : $\vec{E} = E_0 \cdot \exp(j(\omega \cdot t - k \cdot y)) \vec{e}_z$. Déterminer k^2 en fonction de ε_0 , μ_0 , γ et la pulsation ω .
3. La conductivité du conducteur est complexe : $\underline{\gamma} = \frac{j \cdot e^2 \cdot N_e}{\omega \cdot m_e}$.
Montrer que γ est réelle pour une plage de valeurs de ω .
4. On souhaite libérer $N_e = 10^{17}$ électrons par mètre cube de dioxygène pour obtenir un plasma. En quoi le dispositif proposé permet d'obtenir ce plasma ?