

TD physique 14

Ondes em dans le vide

Exercice 1

On s'intéresse à une OPPH électromagnétique, de pulsation ω et de nombre d'onde k , dont le champ électrique s'écrit, en notations complexes :

$$\vec{E}(M, t) = \underline{E}_x(M, t) \vec{e}_x + \underline{E}_y(M, t) \vec{e}_y$$

avec $\underline{E}_x(M, t) = E_0 \exp\left(i\left(\omega t - \frac{k}{3}(2x + 2y + z)\right)\right)$.

1. Déterminer le vecteur d'onde \vec{k} associé à cette onde et donner l'équation cartésienne des plans d'onde.
2. Déterminer l'expression de $\underline{E}_y(M, t)$.
3. Calculer le champ magnétique $\vec{B}(M, t)$ correspondant à cette OPPH.

Exercice 2

Dans une région de l'espace vide de charges et de courants, règne un champ magnétique :

$$\vec{B} = a \sin(\omega t - kx) \vec{u}_x + ak y \cos(\omega t - kx) \vec{u}_y$$

où a , ω et k sont des constantes.

1. Déterminer le champ électrique associé et vérifier que (\vec{E}, \vec{B}) constitue bien une onde électromagnétique (i.e. vérifie les équations de Maxwell).
2. Déterminer le vecteur de Poynting de l'onde ainsi que sa valeur moyenne.

Exercice 3

Un laser hélium-néon, de puissance moyenne 2 mW, émet un faisceau lumineux monochromatique, de longueur d'onde $\lambda_0 = 632,8$ nm, supposé cylindrique de rayon $r = 0,75$ mm, que l'on peut en première approximation assimiler à une OPPH polarisée rectilignement.

1. Calculer les valeurs numériques des amplitudes E_0 et B_0 des champs électrique et magnétique associés à cette OPPH.
2. Déterminer le nombre moyen N de photons émis par seconde et en déduire le nombre moyen $\langle n \rangle$ de photons par unité de volume dans le faisceau.
3. Pourquoi la modélisation du faisceau laser par une OPPH n'est-elle pas réellement satisfaisante ?

Exercice 4

On superpose, dans le vide, la superposition de deux OPPH polarisées rectilignement dont les champs électriques s'écrivent

$$\vec{E}_1(x, t) = E_0 \cos(\omega t - kx) \vec{e}_y \quad \text{et} \quad \vec{E}_2(x, t) = E_0 \cos(\omega t + kx) \vec{e}_y$$

où on suppose $k > 0$

1. Calculer les champs \vec{E} et \vec{B} résultant de la superposition, vérifier qu'il s'agit bien d'une onde stationnaire. Que peut-on dire des noeuds de vibration des champs \vec{E} et \vec{B} ?
2. Exprimer le vecteur de Poynting de l'onde résultante, puis calculer sa valeur moyenne temporelle. Commenter.

Exercice 5

On s'intéresse à la propagation d'une onde électromagnétique dans l'atmosphère jusqu'à une altitude de 80km (là où commence l'ionosphère). L'onde est émise verticalement (et vers le haut), elle est considérée comme plane, progressive, monochromatique et polarisée rectilignement.

La première partie de l'atmosphère (jusqu'à 50km est assimilée au vide. La seconde (de 50km à 80km) est un milieu homogène absorbant caractérisé par une épaisseur de peau de $\delta = 2000\text{m}$ et une vitesse de phase égale à c .

1. On s'intéresse d'abord à la propagation dans la première couche.
 - (a) La longueur de l'onde émise est de $\lambda_0 = 12\text{m}$. Quelle est sa fréquence ? A quel domaine d'ondes électromagnétiques appartient-elle ?
 - (b) Donner une expression possible pour \vec{E} et \vec{B} .
 - (c) La puissance par unité de surface de l'onde émise est de $P_S = 1\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Calculer les amplitudes des champs \vec{E} et \vec{B} .
2. On considère maintenant la propagation de l'onde dans la couche absorbante.
 - (a) Donner l'expression de \vec{E} dans ce milieu.
 - (b) En admettant que $P_S(z) = \frac{E_m^2(z)}{2\mu_0 c}$, donner la proportion de l'énergie initiale de l'onde perdue par absorption dans cette couche.

Exercice 6

Sur la notice d'un téléphone portable, on peut lire que la puissance maximale de sortie de l'antenne pour les communications en 4G est de 23dBm . Le dBm est une abréviation du rapport de puissance, exprimé en décibels (dB), entre la puissance mesurée et un milliwatt (mW).

1. Calculer la puissance maximale, en W, émise par l'antenne du téléphone portable lors de communications 4G
2. A l'aide d'un modèle simple, estimer l'amplitude du champ électrique rayonné par l'antenne d'un téléphone portable à une distance $d = 15\text{cm}$ de l'antenne. Commenter le résultat obtenu sachant que le niveau d'exposition maximale recommandé est de $61\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$.

Exercice 7

On considère une onde EM plane, progressive et monochromatique se propageant dans le vide dans la direction des z croissants. Les champs \vec{E} et \vec{B} de cette onde agissent sur une particule ponctuelle de charge q et de masse m animée, sous l'action de la force de Lorentz et d'autres forces non décrites ici, d'un mouvement sinusoidal forcé de même fréquence que l'onde EM dans le plan $z = 0$.

La polarisation de l'onde EM et le mouvement de la particule sont a priori quelconques (elliptiques...)

1. Donner, en fonction de $\langle \vec{v}\cdot\vec{E} \rangle$ (où \vec{v} est la vitesse de la particule), l'expression de l'énergie W cédée par le champ à la particule en une période.

2. Montrer que l'impulsion (quantité de mouvement) cédée à la particule par le champ en une période T peut s'écrire : $\vec{\Delta p} = q \int_0^T \vec{v} \wedge \vec{B}(z=0) dt$

3. En utilisant la relation $\vec{B} = (1/\omega)\vec{k} \wedge \vec{E}$, montrer que $\vec{\Delta p} = (W/c)\vec{e}_z$. On pourra utiliser le fait que $\vec{a} \wedge (\vec{b} \wedge \vec{c}) = (\vec{a}\cdot\vec{c})\vec{b} - (\vec{a}\cdot\vec{b})\vec{c}$

Exercice 8

1. On place sur le trajet d'une onde plane progressive monochromatique se propageant dans la direction de l'axe (Oz) et polarisée rectilignement dans la direction de \vec{e}_x un polariseur orienté pour transmettre une polarisation rectiligne perpendiculaire à (Oz) et faisant un angle θ par rapport au vecteur \vec{e}_x

a. Ecrire l'expression du champ électrique de l'onde avant la traversée du polariseur en introduisant les notations nécessaires.

b. En déduire l'expression du champ électrique de l'onde après traversée du polariseur (on appelle ϕ_0 le déphasage dû à la traversée du polariseur). Quel est le coefficient de transmission du polariseur défini comme le rapport de l'éclairement de l'onde sortant du polariseur à l'éclairement de l'onde arrivant sur le polariseur ?

2. On place maintenant sur le trajet de l'onde une suite de N polariseurs. Le polariseur n est orienté pour transmettre une polarisation rectiligne formant un angle $n\theta$ par rapport à la polarisation initiale de l'onde.

a. Quel est l'éclairement de l'onde transmise après traversée des N polariseurs ?

b. Montrer que, pour une valeur de N suffisamment grande, le dispositif permet de faire tourner une polarisation linéaire de 90° avec une perte d'énergie négligeable. Combien de polariseurs faut-il utiliser pour que les pertes d'énergie de ce système soient inférieures à 1%?