

ELECTROMAGNETISME

Chapitre 6 : Propagation d'ondes électromagnétiques dans le vide

Exercice 1 : Caractéristique d'une OPPM

Une OPPM électromagnétique se propage dans le vide (à la vitesse c) dans la direction \vec{u} telle que $(\vec{u}_x, \vec{u}) = \frac{\pi}{4}$. L'onde est polarisée rectilignement suivant \vec{u}_z . En O , on a : $\vec{E}(O, t) = E_0 \cos(\omega t) \vec{u}_z$.

- 1) Exprimer $\vec{E}(M, t)$ complètement.
- 2) En déduire l'expression du champ magnétique $\vec{B}(M, t)$.
- 3) Calculer la densité d'énergie électromagnétique et le vecteur de Poynting en tout point M .
- 4) La puissance moyenne rayonnée par cette onde à travers une surface $S = 10 \text{ mm}^2$ orthogonale à sa direction de propagation est $P = 10 \text{ W}$. En déduire E_0 .

Exercice 2 : Onde stationnaire

On superpose, dans le vide, deux OPPM, polarisées rectilignement, dont les champs électriques s'écrivent :

$$\vec{E}_1 = E_{1m} \cos(\omega t - kx) \vec{e}_y \quad \text{et} \quad \vec{E}_2 = E_{2m} \cos(\omega t + kx) \vec{e}_y$$

- 1) Quels sont les sens de propagation de ces ondes ?
- 2) Comment s'expriment les champs magnétiques respectifs ?
- 3) Déterminer le champ électrique résultant, lorsque les amplitudes E_{1m} et E_{2m} sont identiques.
Répondre, ensuite, aux questions suivantes :
 - Existe-t-il des points où le champ résultant est nul à chaque instant ?
 - Que peut-on dire du champ magnétique ?
 - Déterminer le vecteur de Poynting de l'onde résultante et calculer sa valeur moyenne. Commenter.
- 4) Dans le cas où $E_{1m} \neq E_{2m}$, où sont les points correspondant à un minimum d'amplitude de l'onde résultante ? Est-ce que cette amplitude s'annule ?

Exercice 3 : Onde cylindrique

A partir d'un fil source (l'axe (Oz)) est émise dans le vide une onde dont le champ électrique est donné en coordonnées cylindriques par $\vec{E} = E(r) \exp i(\omega t - kr) \vec{u}_z$.

- 1) Trouver le champ magnétique \vec{B} correspondant. Commenter les champs.
- 2) Déterminer le vecteur de Poynting instantané \vec{R} , puis moyenne temporelle $\langle \vec{R} \rangle$.
- 3) Quelle est la puissance moyenne rayonnée à travers un cylindre d'axe (Oz) , de rayon r et de hauteur h ? En déduire la dépendance de $E(r)$.
- 4) Donner l'expression de \vec{B} à grande distance (pour $r \gg \lambda$) et commenter.

Exercice 4 : Polariseur et analyseur

On modélise un film polarisant dichroïque, noté P_1 , par une lame d'épaisseur négligeable constituée d'un milieu anisotrope. On suppose que le caractère anisotrope du milieu se traduit par une transparence vis-à-vis des ondes dont le champ électrique est parallèle à une direction (Ox) attachée au plan du polariseur, dite axe du polariseur, et par une opacité vis-à-vis des ondes dont le champ électrique est parallèle à une

direction (Oy) orthogonale à (Ox) . On admet que dans le cas général, le champ électrique associé à une onde de polarisation quelconque se propageant suivant l'axe (Oz) normal à la surface du polariseur est de la forme :

$$\vec{E}_1(M, t) \begin{cases} E_{ox} \cos(\omega t - kz + \varphi_x) \\ E_{oy} \cos(\omega t - kz + \varphi_y) \\ 0 \end{cases}$$

avec $E_{ox} > 0$ et $E_{oy} > 0$.

Dans le cas d'une lumière non polarisée, les phases à l'origine φ_x et φ_y sont différentes et aléatoires.

- 1) Une lumière non polarisée à qui on associe l'OPPM écrite précédemment tombe en incidence normale au point O à la surface du polaroïd. Donner la forme du champ émergent \vec{E}_2 de P_1 .
- 2) On place à présent un second polaroïd P_2 , identique au premier et parallèle à celui-ci, sur le trajet de la lumière émergente de P_1 . On note (OX) son axe et on suppose que celui-ci fait un angle α avec l'axe (Ox) de P_1 . On note I l'intensité lumineuse transportée par l'onde.
 - a) Donner l'expression de l'intensité I_2 de l'onde incidente sur P_2 ainsi que celle, notée I_3 , de l'onde qui en émerge. En déduire la relation entre I_2, I_3 et α dite loi de Malus.
 - b) On place un écran derrière P_2 . Que se passe-t-il lorsque les directions (Ox) et (OX) sont orthogonales ?