EXERCICE 1

Champs électrique et magnétique d'un LASER

Un laser émet, en continu, avec une puissance de 10 W, une onde plane d'extension transversale 1 mm^2. Calculer les amplitudes des champs électrique et magnétique.

EXERCICE 2

Superposition de deux ondes planes

1. On considère une onde plane polarisée rectilignement, monochromatique, de pulsation ω, de vecteur d'onde $\vec{k}_1 = k\cos(i)\vec{e}_x + k\sin(i)\vec{e}_y$, de champ électrique $\vec{E}_1$. Déterminer le champ magnétique $\vec{B}_1$ de l'onde.
2. Un deuxième OPPM, polarisée rectilignement identiquement à la première, de même amplitude et même phase en O que l'onde précédente, de même pulsation, se propage dans la direction du plan (xOy) symétrique de la précédente par rapport à (Ox). Exprimer le vecteur d'onde $\vec{k}_2$, le champ électromagnétique $(\vec{E}_2, \vec{B}_2)$ de cette onde.
3. On superpose les deux ondes précédentes. Déterminer les champs électrique et magnétique résultants. Montrer l'existence de plans d'onde (plans équiphases). Déterminer la direction et la vitesse de propagation de l'onde résultante. Préciser la structure des champs résultants.
4. Calculer la densité volumique d'énergie électromagnétique u en tout point et sa valeur moyenne au cours du temps. Calculer le vecteur de Poynting et sa valeur moyenne au cours du temps. Déduire de ces résultats la vitesse Ve de propagation de l'énergie.

EXERCICE 3

Onde électromagnétique non plane.

On considère une onde électromagnétique se propageant dans le vide suivant la drection Oz et dont le champ électrique associé est de la forme :

$$\vec{E} = F(x)\cos(\omega t + \phi(z))\,\vec{e}x + G(x)\cos(\omega t + \phi(z) + \phi_0)\,\vec{e}_z$$

Avec $F(x)$, $G(x)$ et $\phi(z)$ fonctions réelles ; $\phi(0) = 0$,$\dfrac{d\phi(z)}{dz} < 0$ et ϕ_0 constante réelle positive.

1. Écrire en notation complexe les composantes du champ électrique.
2. En utilisant l'équation de Maxwell-Gauss, établir la relation liant ϕ_0 , $\phi(z)$, $F(x)$ et $G(x)$. Calculer ϕ_0. Montrer que $\phi(z) = -kz$ où k est une constante positive.
3. Établir, à l'aide de l'équation de propagation, les équations différentielles dont $F(x)$ et $G(x)$ sont solutions. Expliciter les fonctions $F(x)$ et $G(x)$ en distinguant les deux cas : $k^2 < (\omega/c)^2$ et $k^2 > (\omega/c)^2$. On posera $\alpha^2 = |\dfrac{\omega^2}{c^2} - k^2|$.
4. Déterminer le champ magnétique $\vec{B}$.
5. Dans l'hypothèse où $F(x)$ est une fonction impaire de x, exprimer les champ $\vec{E}$ et $\vec{B}$ et comparer l'onde obtenue à une onde plane.

EXERCICE 4

Polarisations diverses

Donner les expressions réelles puis complexes de $\vec{E}(\vec{r}, t)$ pour les ondes planes suivantes :

- ✘ Onde se propageant suivant l'axe (Ox) et polarisée linéairement à $\pi/3$ de l'axe (Oy).

- ✘ Onde se propageant suivant (Oy) et polarisée elliptiquement à droite, le grand axe de l'ellipse, suivant (Oz), étant trois fois plus grand que le petit axe.
- ✘ Onde polarisée linéairement suivant (Oy) et se propageant parallèlement au plan (zOx) à $\pi/4$ de (Oz).

EXERCICE 5

Détection d'ondes lumineuses polarisées

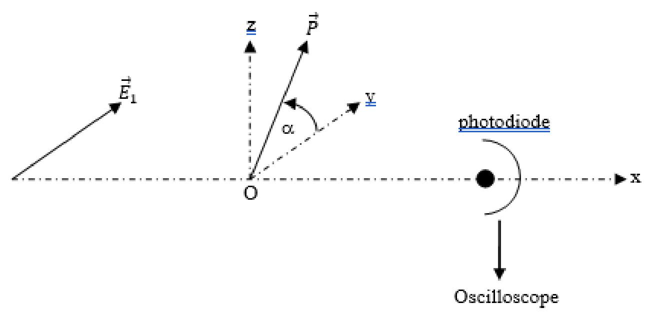

Figure 1 –

On considère deux ondes lumineuses (1) et (2) planes, monochromatiques, de pulsation ω , se propageant dans l'air, dans la direction (Ox) d'un référentiel $(Oxyz)$. La direction (Ox) est horizontale et (Oz) est verticale. Les champ électriques des deux ondes sont respectivement :

$$\vec{E}_1 = E_0 \cos(\omega t - kx)\,\vec{u}_y$$

$$\vec{E}_2 = E_0 \cos(\omega t - kx - \phi)\,\vec{u}_z$$

Où ϕ est une constante.

1. Caractériser la polarisation des deux ondes. Comment choisir ϕ pour que l'onde résultante (3) soit polarisée circulairement à gauche ?
2. On définit l'intensité d'une onde optique de champ électrique $I = \dfrac{E^2}{\mu_0 c}$. Une photodiode, dont le temps de réponse τ est de l'ordre de grandeur de la μs reçoit les ondes lumineuse ($\lambda = 630$ nm) et convertit l'intensité lumineuse reçue en une tension électrique. Cette tension V, proportionnelle à l'intensité ($V = KI$ où K est une constante), est observée à l'oscilloscope. Quelle est la forme des oscillogrammes si la photodiode détecte successivement les ondes (1), (2) et (3) ?
3. Entre l'onde (1) et la photodiode, on place un polariseur rectiligne tournant autour de l'axe (Ox) à la vitesse angulaire constante $\Omega = 100\pi$rad/s. L'angle instantané de la direction OP du polariseur avec l'axe (Oy) est alors $\alpha = \Omega t$. Quelle est la forme de l'oscillogramme ? Quelle loi illustre-t-il ?

EXERCICE 6

Voile solaire

Une onde plane progressive sinusoïdale de pulsation ω, de puissance surfacique $\mathscr{P}$, se propage d'un milieu assimilable au vide vers une aile métallique plane (A) d'aire S, sur laquelle elle se réfléchit sous incidence normale.

1. Exprimer la pression photonique P, imprimée sur (A).

2. Retrouver l'ordre de grandeur de la puissance surfacique solaire à l'entrée de l'atmosphère.
3. Que vaut la pression photonique solaire au sol et à l'entrée de l'atmosphère ? Commenter.
4. Le vent solaire est composé essentiellement d'électrons et de protons. Majorer la pression du vent solaire sur l'orbite de la Terre autour du Soleil ? Conclure.
5. Que peut apporter la voile solaire à la propulsion d'un satellite terrestre ?

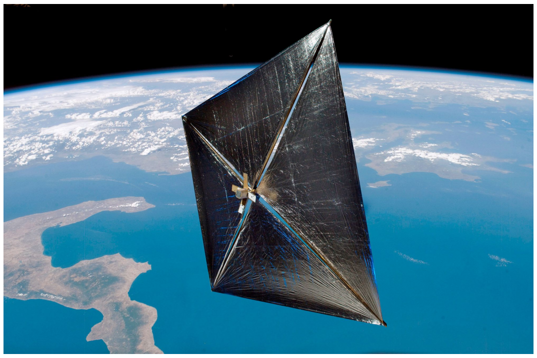

FIGURE 2 – Voile solaire de $10\,\mathrm{m}^2$ équipant le satellite Fastsat

Données :

- Puissance surfacique solaire au sol de France $\mathscr{P} = 125\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}}$
- Puissance surfacique solaire au top de l'atmosphère $\mathscr{P}' = 1367\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}}$
- Flux de photons émis par le Soleil $\Phi = 10^{45}$photons/s
- Vitesse d'une particule de vent solaire $v = 420\,\mathrm{km{\cdot}s^{-1}}$
- Densité de particules de vent solaire $N = 6 \times 10^6\,\mathrm{m^{-3}}$.

EXERCICE 7

Antenne Radio

Une antenne de station radio, rectiligne verticale d'axe Oz, rayonne une onde électromagnétique sinusoïdale de fréquence $\nu = 90\,\mathrm{MHz}$. Le champ électrique a pour composantes dans la base sphérique :

$$E_r = 2E_0 \cos\theta \left(\frac{1}{k^3r^3} + \frac{i}{k^2r^2}\right) \exp i(\omega t - kr), \quad E_\theta = E_0 \sin\theta \left(\frac{1}{k^3r^3} + \frac{i}{k^2r^2} - \frac{1}{kr}\right) \exp i(\omega t - kr), \quad E_\varphi = 0.$$

1. On se place à grande distance de l'antenne, de telle sorte à simplifier l'expression du champ électrique.
   (a) À quelle longueur ℓ faut-il comparer r pour se situer à grande distance ? Préciser la valeur numérique de ℓ. Simplifier le champ électrique dans l'approximation $\ell/r \ll 1$.
   (b) Exprimer le champ magnétique de l'onde, à grande distance. Que peut-on dire de la structure de l'onde rayonnée à grande distance ?
2. La station radio émet une puissance moyenne $P = 10^5\,\mathrm{W}$. En déduire E_0 puis l'amplitude du champ électrique à 10 km de la station. On donne $\int_0^\pi \sin^3\theta d\theta = \frac{4}{3}$.