

TD 3. Polarisation et énergie associée à une onde électromagnétique

I. Polarisation de l'onde lumineuse

1. Considérons une onde électromagnétique plane, sinusoïdale de pulsation ω et de longueur d'onde $\lambda = 2\pi / k$, se propageant dans la direction Oz . Partant de la représentation complexe du champ électrique en un point $M(\vec{r})$ de l'espace, soit $\vec{E}_c = \vec{E}_0 \exp[i(\omega t - \vec{k}\vec{r} + \phi)]$, écrire dans le repère cartésien $Oxyz$ les composantes réelles du champ $\vec{E}$. On appellera E_{0x} et E_{0y} les amplitudes de $\vec{E}$ dans le plan d'onde.
2. En éliminant le temps entre les expressions des composantes, retrouver que l'extrémité du vecteur $\vec{E}$ décrit dans le cas général une ellipse dans le plan d'onde (plan qui se déplace à la vitesse de phase de l'onde en restant perpendiculaire au vecteur d'onde $\vec{k}$). On appellera $\varphi = \varphi_y - \varphi_x$ la différence de phase entre les composantes E_{0x} et E_{0y} de $\vec{E}$ à l'origine des temps et de l'espace (en $z = 0$ à $t = 0$). En déduire la courbe suivie par l'extrémité du vecteur $\vec{E}$ dans l'espace 3D au cours du temps.
3. Discuter selon les valeurs de φ le sens dans lequel l'extrémité de $\vec{E}$ décrit son ellipse dans le plan d'onde au cours du temps.
4. Cas particulier de $\varphi = 0[2\pi]$ et $\varphi = \pi[2\pi]$. C'est le cas de l'onde plane polarisée rectilignement.
5. Dans le cas d'une onde plane dont le champ $\vec{E}$ est polarisé rectilignement suivant Ox , quelles sont les caractéristiques du champ $\vec{B}$ (polarisation, direction, phase, module...) ? Représentation schématique de l'onde ($\vec{E}$, $\vec{B}$).
6. Décrire dans le cas particulier $\varphi = \pm\pi/2$ et $E_{0x} = E_{0y}$. C'est dans ce cas que l'on se place quand on veut procéder à des expérimentations de *dichroïsme circulaire*.
7. Expliquer pourquoi la lumière naturelle est décrite par l'onde suivante :

$$\mathbf{E} = E_0 [\cos(\omega t - kz) \mathbf{u}_x + \cos(\omega t - kz + \varphi(t)) \mathbf{u}_y]$$
 où $\varphi(t)$ est une fonction aléatoire variant rapidement.
8. **Applications aux TP** : décrire une expérience permettant de réaliser une lumière polarisée rectilignement et de l'analyser.
Enoncer la loi de Malus dans le cas d'un polariseur rectiligne parfait.

II. Onde plane monochromatique associée à un faisceau laser

Un faisceau laser émet une onde plane monochromatique polarisée rectilignement qui se propage dans le plan Oxy suivant une direction $\mathbf{Ox'}$ inclinée de 60° par rapport à l'axe $\mathbf{Ox}$. Le faisceau est polarisé rectilignement selon $\mathbf{Oz}$.

1. Ecrire les composantes du vecteur d'onde $\mathbf{k}$, du champ électrique $\mathbf{E}$, du champ magnétique $\mathbf{B}$ et du vecteur de Poynting $\mathbf{\Pi}$.
2. Calculer leurs normes dans le cas d'un laser Ar^+ émettant dans le bleu ($\lambda_0 = 488 \text{ nm}$) qui émet en continu un faisceau cylindrique de section 1 mm^2 et de puissance moyenne 1 W.

III. Interférences en tant que superposition d'ondes planes.

Soit la superposition dans le vide de deux Oem planes de même pulsation, de même amplitude E_0 , polarisées rectilignement selon l'axe $\mathbf{Oy}$, se propageant selon deux directions contenues dans le plan Oxz et faisant avec l'axe $\mathbf{Oz}$ les angles θ et $-\theta$. On supposera que ces deux ondes proviennent, après passage par un système interférentiel, d'une même onde incidente : elles sont donc supposées « cohérentes entre elles ».

1. Etablir l'expression du champ électrique $\mathbf{E}$ résultant. Quelle est la vitesse de phase de ce champ ? L'onde est-elle une onde plane ?
2. Quelle est l'expression du champ magnétique $\mathbf{B}$?
3. Calculer la valeur moyenne $\langle \mathbf{\Pi} \rangle$ du vecteur de Poynting et dire comment varie l'éclairement d'une surface placée perpendiculairement à $\langle \mathbf{\Pi} \rangle$.