

Thème : Ondes électromagnétiques dans le vide

Mardi 11 mars 2025

PO302 - Onde plane progressive harmonique

On étudie une onde électromagnétique dont le champ électrique est :

$$\vec{E} = E_x \cdot \vec{e}_x + E_y \cdot \vec{e}_y \quad \text{avec } E_x = E_0 \cdot e^{i \cdot \left(\frac{k}{3} \cdot (2 \cdot x + 2 \cdot y + z) - \omega \cdot t \right)}$$

L'onde se propage dans le vide et sa longueur d'onde est $\lambda = 600 \text{ nm}$.

- 1 – Quelle est l'expression du vecteur d'onde. En déduire la valeur de la constante k .
- 2 – Quel est le sens de propagation ?
- 3 – Exprimer E_y en fonction de E_x .
- 4 – Calculer le champ $\vec{B}$ [$(x, y, z) \in (-\infty, +\infty) \times (-\infty, +\infty) \times (-\infty, +\infty)$]

4 - Calculer le champ B

PO304 – Onde plane homogène polarisée. Intensité rayonnée.

Une onde électromagnétique plane homogène, sinusoïdale, de pulsation ω , se propage dans le vide suivant une direction $\vec{u}$ du plan xOy faisant un angle de 45° avec Ox.

L'onde est polarisée rectilignement suivant une direction parallèle au plan xOy .

- 1 - Ecrire les expressions des composantes du champ électrique $\vec{E}$ de l'onde en fonction de x , y et t .
- 2 - Ecrire les expressions des composantes du champ magnétique $\vec{B}$ de l'onde.
- 3 - Ecrire les expressions des composantes du vecteur de Poynting $\vec{P}$.
- 4 - Représenter $\vec{E}$, $\vec{B}$, $\vec{P}$ sur un schéma.
- 5 - L'intensité de l'onde est $I = 1,4.10^3 \text{ W.m}^{-2}$.

Calculer les amplitudes du champ électrique et du champ magnétique.

Données : $c = 3,0.10^8 \text{ m.s}^{-1}$; $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$.

1) Dans le vide, l'onde est transverse électrique : $\vec{E} = \frac{E_0}{E_0} e^{i(\frac{\sqrt{z}}{k}(x+y) - \omega t)} (\vec{e}^x - \vec{e}^y)$

2) $\vec{B} = \frac{\omega}{k\sqrt{E}} = -\frac{c}{E_0} e^{i(\frac{\sqrt{z}}{k}(x+y) - \omega t)} \vec{e}_z$; 3) $\vec{P} = \frac{n_0}{E_0} \cos z \frac{c}{E_0} e^{i(\frac{\sqrt{z}}{k}(x+y) - \omega t)} (\vec{e}^x + \vec{e}^y)$

4) $I = \langle |P| \rangle = \frac{E_0^2}{2} ; E_0 = \sqrt{2\mu_0 c I} ; B_0 = \sqrt{\frac{c}{2\mu_0 I}}$

P0316 - Onde électromagnétique dans une cavité (*Jean-Marc / Ariane*)

On considère deux plans parfaitement conducteurs d'équations $z = 0$ et $z = a$.

L'espace entre ces plans est vide. On rappelle que le champ électromagnétique est nul à l'intérieur des matériaux conducteurs parfaits et que le champ électrique tangentiel aux surfaces des conducteurs parfaits est continu.

On considère des ondes planes harmoniques se propageant selon (Oz) et polarisées rectilignement selon $\vec{e}_y$.

- 1 – Justifier qu’une telle OPPH se propageant selon $\vec{e}_z$ seule ne peut satisfaire la condition limite imposée par les plans conducteurs et donc qu’elle s’accompagne d’une OPPH se propageant selon $-\vec{e}_z$.
- 2 – Déterminer l’expression du champ électromagnétique $\{\vec{E}, \vec{B}\}$. Commenter.

Calculer la fréquence du *mode propre fondamental* de cette cavité avec $a = 15 \text{ cm}$, $c = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

- 3 -** Exprimer l'énergie électromagnétique moyennée dans le temps contenue dans un cylindre d'axe (Oz) de surface de base S limité par les plans $z = 0$ et $z = a$ ainsi que la valeur moyenne du vecteur de Poynting. Commenter.

PO316 - Electromagnétisme dans un guide d'onde

On étudie le champ électrique dans un guide rectangulaire (de longueurs a selon x et b selon y , et de profondeur infinie selon z). Dans le guide, il règne un champ électrique $\vec{E} = E_m \sin(\alpha x) \cdot \cos(\omega t - Kz) \vec{u}_y$

1 - Rappeler les équations de Maxwell dans le vide. En déduire l'équation de propagation du champ électrique.

2 - En déduire la relation de dispersion.

3 - On considère que les parois du guide sont constituées d'un métal conducteur parfait.

3.a - Dans un conducteur parfait, le champ électrique est nul. En admettant que la composante du champ électrique tangentielle aux parois du guide d'onde est continue, montrer que α prend des valeurs discrètes à préciser.

3.b - On considère pour la suite que $\alpha = \frac{\pi}{a}$. Représenter le champ E en $t=0$ et $z=0$.

3.c - Montrer que le guide agit comme un filtre. Déterminer sa pulsation de coupure.

3.d - Faire l'application numérique pour la fréquence de coupure avec $a=2 \text{ cm}$. A quel type d'onde cela correspond-il ?

4 - Calculer la vitesse de phase et la vitesse de groupe.

PO306 – Actions d'une lame quart d'onde (Côme / Henri)

On dispose d'une lame quart d'onde pour la radiation de longueur d'onde λ_0 . On appelle (Ox) son axe rapide et (Oy) son axe lent.

1 – On éclaire en incidence normale cette lame par une OPPH de longueur d'onde λ_0 se propageant selon (Oz) polarisée rectilignement dont le champ électrique fait un angle α avec (Ox) . Quelle est la polarisation de l'onde émergente de la lame ? Qu'en est-il si $\alpha = \frac{\pi}{4}$?

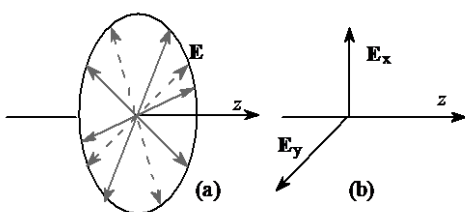
2 – On éclaire maintenant cette même lame par une OPPH de longueur d'onde λ_0 polarisée circulairement. Quel est l'état de polarisation de l'onde émergente ?

3 – On éclaire enfin cette même lame par une OPPH de longueur d'onde λ_0 polarisée elliptiquement à droite dont les axes de l'ellipse coïncident avec les axes du repère. Quel est l'état de polarisation de l'onde émergente ?



PO308 - Polarisation de la lumière naturelle ; modèle de FRESNEL ARAGO. (Guillaume)

On donne ci-dessous deux descriptions de la lumière naturelle.



a) Le vecteur champ électrique $\vec{E}$, transversal, peut prendre, aléatoirement, toute orientation dans son plan.

b) Modèle de Fresnel Arago : superposition de deux ondes polarisées rectilignement suivant deux directions perpendiculaires (par exemple OX et OY), incohérentes entre elles et de même amplitude.

b) Modèle de Fresnel Arago : superposition de deux ondes polarisées rectilignement suivant deux directions perpendiculaires (par exemple OX et OY), incohérentes entre elles et de même amplitude.

Étude d'un polaroïd. Loi de Malus

La source est un laser He-Ne non polarisé de puissance $P = 500 \mu W$, le détecteur est un multimètre optique permettant la mesure des puissances lumineuses en μW .

Le trait gras représente la direction du polaroïd.

En l'absence de polaroïd, le détecteur D indique une puissance $P_0 = 456 \mu W$.

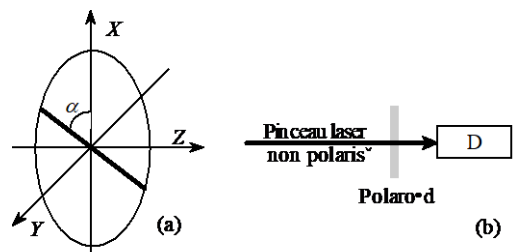
En présence du polaroïd, $P_1 = 192 \mu W$, cette valeur reste sensiblement constante lorsque l'on fait varier α .

1 – Que peut-on déduire de cette dernière observation ?

2 - Prenant le modèle (a) de la lumière naturelle et supposant le polaroïd idéal, calculer la puissance théorique transmise P_a transmise.

3 - Reprendre le même calcul en utilisant cette fois le modèle de Fresnel Arago (b).

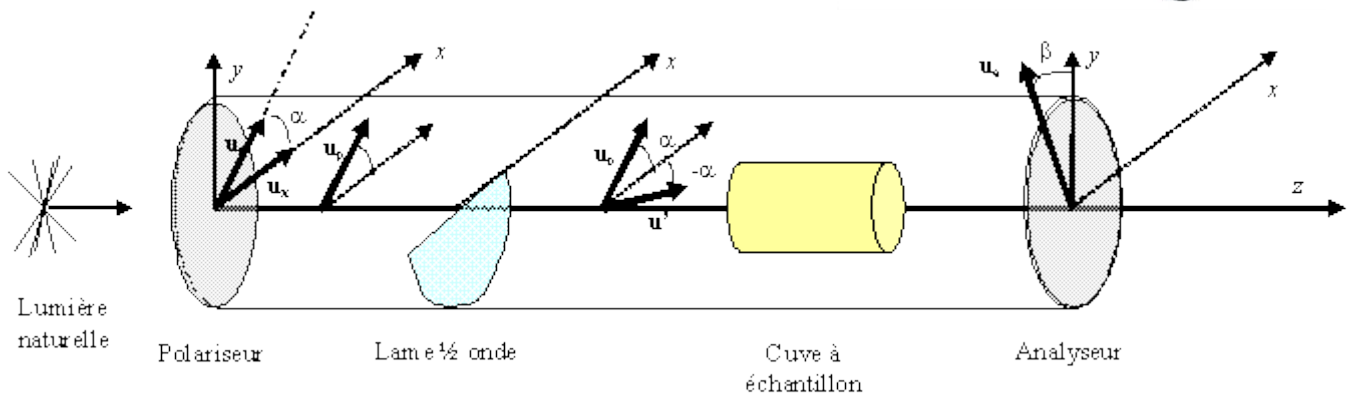
4 – Considérant les valeurs expérimentales, définir et calculer numériquement un coefficient de transparence énergétique τ du polaroïd.



★ PO314 – Polarimètre à pénombre de Laurent (Dante)

Afin de détecter plus précisément la direction d'une vibration électromagnétique rectiligne que par une paire polariseur/analyseur, le polarimètre de Laurent utilise une lame demi-onde interposée entre polariseur et analyseur. Cette lame n'occupe que la moitié de la section du faisceau lumineux et ses lignes neutres sont les axes (Ox) et (Oy).

- La direction polarisante du polariseur est celle de $\vec{u}_p$ et fait un angle α avec l'axe (Ox)
- La direction polarisante de l'analyseur est celle de $\vec{u}_a$ et fait un angle $\beta < 1 \text{ rad}$ avec l'axe (Oy).



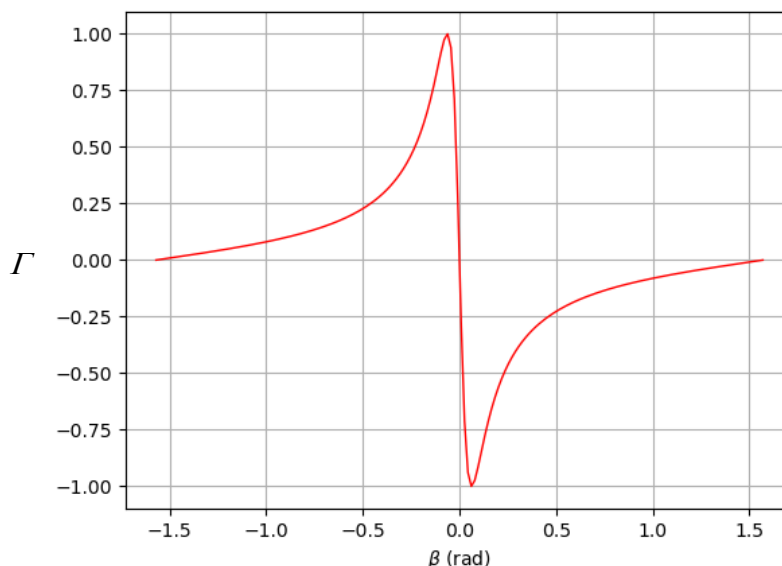
1 – Phase d'étalonnage : la cuve à échantillon est vide

1a – Quelle est la direction de polarisation de l'onde lumineuse à la sortie de la lame demi-onde ?

1b – Déterminer l'intensité lumineuse à la sortie de l'analyseur. On notera I_1 celle de la partie supérieure $y > 0$, I_2 celle de la partie inférieure $y < 0$ et I_0 celle de l'intensité incidente de l'analyseur.

1c – Etudier les cas $\beta = 0$, $\beta = \alpha$, $\beta = -\alpha$, $\beta = \frac{\pi}{2}$.

1d – On donne le graphe de la fonction de contraste $\Gamma = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$ en fonction de β en radians (on a choisi $\alpha = \frac{\pi}{45}$)



Graphique du contraste en fonction de β



Figures observables

Quelle valeur de β est-elle la plus précise à mesurer par observation du contraste ? Que valent alors le contraste ainsi que l'intensité des deux plages observées ($y < 0$, $y > 0$). Justifier le nom du polarimètre.

2 – Phase d'étude d'une solution optiquement active.

On veut mesurer le pouvoir rotatoire spécifique, θ_0 , d'une substance inconnue. On a rempli un tube polarimétrique de longueur $\ell = 20 \text{ cm}$ de long d'une solution à $c = 50 \text{ g.L}^{-1}$ de cette substance. A l'aide d'un polarimètre de Laurent, on a pu mesurer un pouvoir rotatoire $\theta = 9.2^\circ$ en tournant l'analyseur dans le sens trigonométrique.

2a) Cette substance est-elle dextrogyre ou lévogyre ?

2b) Déterminer le pouvoir rotatoire spécifique de cette substance. On rappelle la loi de Biot : $\theta = \theta_0 \ell c$

2c) Quelle serait la concentration d'une solution de cette même substance dont le pouvoir rotatoire serait $\theta = 14.8^\circ$.