



Concours Nationaux d'Entrée aux Cycles de Formation d'Ingénieurs
Session 2009

Concours Biologie et Géologie
Epreuve de Physique

Date : Jeudi 04 Juin 2009 Heure : 8 H Durée : 3 H Nbre pages : 04

Barème : Problème I : 11 / 20 Problème II : 09 / 20

L'usage d'une calculatrice non programmable est autorisé.

L'épreuve comporte deux problèmes indépendants. Le candidat peut les résoudre dans l'ordre qui lui convient, en respectant néanmoins la numérotation des questions.

PROBLEME I : PHYSIQUE DES ONDES

1- Modèle de l'onde électromagnétique plane progressive monochromatique

On considère une onde électromagnétique plane monochromatique, de pulsation ω , de longueur d'onde dans le vide λ_0 , se propageant suivant la direction Oz dans un milieu transparent, linéaire, homogène et isotrope d'indice de réfraction n . Elle est polarisée rectilignement parallèlement à l'axe Ox.

Les axes Ox, Oy et Oz constituent un trièdre direct, de vecteurs unitaires \vec{u}_x , \vec{u}_y et \vec{u}_z .

Le champ électrique relatif à cette onde s'écrit : $\vec{E}(z, t) = E_0 \cos(\omega t - kz) \vec{u}_x$, E_0 est une constante.

1-1- Ecrire l'équation différentielle dont le champ électrique $\vec{E}(z, t)$ est solution. Qu'appelle-t-on cette équation ? Citer d'autres phénomènes physiques décrits par ce type d'équation.

1-2- Préciser les caractéristiques d'une onde électromagnétique plane progressive monochromatique.

1-3- Ecrire l'expression du module du vecteur d'onde \vec{k} en fonction de la pulsation ω , de la vitesse de la lumière dans le vide c et de l'indice du milieu n .

Réécrire le vecteur champ électrique \vec{E} de l'onde électromagnétique, en fonction de E_0 , ω , n , c , z et t .

1-4- Montrer que le vecteur champ magnétique de l'onde s'écrit :

$$\vec{B}(z, t) = \frac{n}{c} E_0 \cos\left(\omega t - n \frac{\omega}{c} z\right) \vec{u}_y.$$

1-5- Qu'appelle-t-on polarisation rectiligne d'une onde électromagnétique plane ? La lumière naturelle est-elle polarisée ? Citer les différents types de polarisation d'une onde électromagnétique plane.

1-6- Comment peut-on produire une lumière polarisée rectilignement ?

1-7- Cette onde électromagnétique traverse un polariseur parfait placé orthogonalement à la direction de propagation.

On note α l'angle que fait la direction de l'axe du polariseur avec celle du vecteur champ électrique incident \vec{E}_i (figure 1).

On fait tourner l'axe de polariseur dans son plan. Décrire ce qu'on observe sur l'écran (E) lors de la variation de l'angle α . Énoncer la loi de Malus.

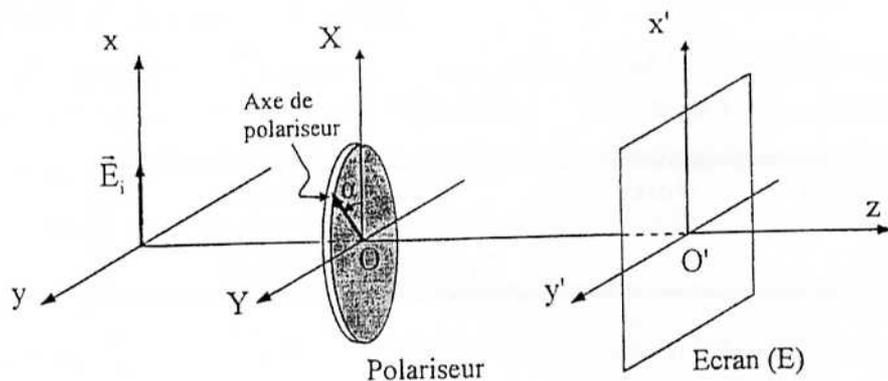


Figure 1

2- Lames à retard

On considère une lame à faces parallèles, parfaitement transparente, d'épaisseur e , taillée dans un cristal uniaxe et dont les faces sont normales à l'axe Oz . Pour une onde électromagnétique plane monochromatique polarisée rectilignement dans la direction Ox , la lame présente l'indice n_o (indice ordinaire). Pour une onde électromagnétique plane monochromatique polarisée rectilignement dans la direction Oy , la lame présente l'indice n_e (indice extraordinaire) avec $n_e > n_o$. L'axe Ox est appelé axe rapide et Oy est l'axe lent. On néglige toute réflexion sur les interfaces.

2-1- Une onde incidente plane polarisée rectilignement suivant Ox et se propageant dans l'air, d'indice $n = 1$, le long de l'axe Oz , arrive sur la lame à l'abscisse $z = 0$. Le champ électrique correspondant s'écrit : $\vec{E}_i(z, t) = E_{0x} \cos(\omega t - kz) \vec{u}_x$.

Le champ électrique de l'onde à la sortie de la lame ($z = e$) s'écrit :

$$\vec{E}_t = E_{0x} \cos(\omega t - \varphi_x) \vec{u}_x.$$

Déterminer le déphasage φ_x en fonction de ω , n_o , e et c .

2-2- Une deuxième onde incidente d'amplitude E_{0y} mais polarisée suivant Oy se propageant suivant Oz , arrive sur la lame à l'abscisse $z = 0$. Le champ électrique correspondant s'écrit :

$$\vec{E}'_i(z, t) = E_{0y} \cos(\omega t - kz) \vec{u}_y.$$

Le champ électrique de l'onde à la sortie de la lame ($z = e$) s'écrit : $\vec{E}'_t = E_{0y} \cos(\omega t - \varphi_y) \vec{u}_y$.

Déterminer le déphasage φ_y en fonction de ω , n_e , e et c .

2-3- Une onde incidente, d'amplitude E_0 est polarisée rectilignement suivant une direction faisant l'angle α avec l'axe Ox , se propage suivant Oz (figure 2).

Déterminer le champ électrique résultant \vec{E}_T de l'onde à la sortie de la lame ($z = e$).

En déduire que le déphasage φ entre les deux composantes suivant les axes Ox et Oy du champ électrique \vec{E}_T transmis de la lame à retard s'écrit : $\varphi = (n_e - n_o) \frac{\omega}{c} e$.

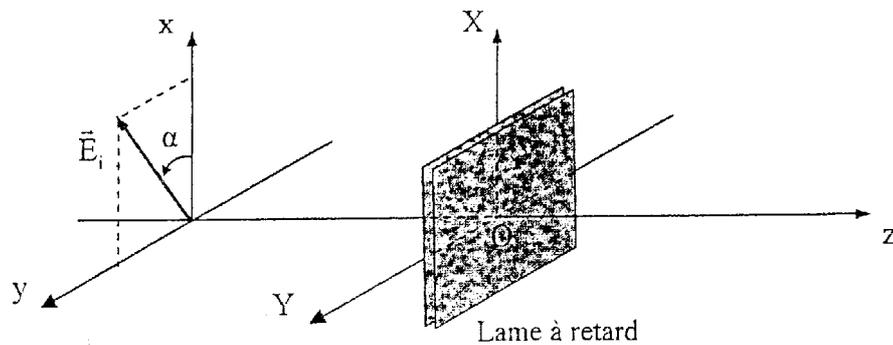


Figure 2

2-4- Deux types de la lame à retard sont à distinguer :

- si $\varphi = \pi$, la lame est dite demi-onde.

- si $\varphi = \frac{\pi}{2}$, la lame est dite quart-d'onde.

Justifier ces appellations.

2-5-1- En calculant le champ électrique transmis, décrire le changement d'état de polarisation relative à une onde incidente polarisée rectilignement dans une direction faisant un angle α avec Ox lorsqu'elle traverse une lame demi-onde.

2-5-2- En calculant le champ électrique transmis, décrire le changement d'état de polarisation pour l'onde incidente polarisée rectilignement suivant une direction faisant un angle α avec l'axe Ox lorsqu'elle traverse une lame quart-d'onde. Quelle est la polarisation de l'onde

transmise si $\alpha = \frac{\pi}{4}$?

PROBLEME II : THERMODYNAMIQUE

Un câble d'acier de longueur L , de masse m et de section circulaire s , supposée constante, est fixé à un support stable par l'une de ses extrémités. Il est tiré par une force de traction d'intensité F à l'autre extrémité (figure 3).

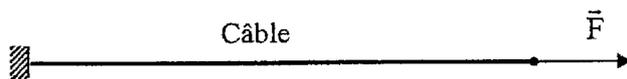


Figure 3

Pour tout état caractérisant le câble, sa température thermodynamique T est supposée uniforme. A l'état d'équilibre de référence ($T_0 = 298 \text{ K}$ et $F = 0 \text{ N}$), la longueur du câble est $L = L_0$ et sa masse volumique vaut ρ_0 .

L'équation d'état du câble liant sa longueur L à la température T et à l'intensité de la force F se

traduit par : $L(T, F) = L_0 \left(1 + \alpha(T - T_0) + \frac{F}{sE} \right)$;

où E et α sont des constantes appelées respectivement module d'Young et coefficient de dilatation linéaire de l'acier.

On note U et S respectivement l'énergie interne et l'entropie du câble.

Les évolutions que peut subir le câble peuvent être décrites par la fonction énergie libre $\Phi = U - TS$.

Pour des variations élémentaires dL de la longueur du câble et dT de la température, la différentielle de l'entropie s'écrit sous la forme :

$$dS(T, L) = m \frac{c_L}{T} dT + \frac{\lambda}{T} dL$$

où c_L et λ sont des coefficients calorimétriques fonctions a priori de T et de L .

1- Le travail élémentaire réversible δW de la force de traction lors d'une variation dL de la longueur L du câble est : $\delta W = F dL$.

1-1- En utilisant le premier principe, exprimer la différentielle dU , en fonction des variables S et L , relative à une transformation élémentaire.

1-2- Montrer que la différentielle de l'énergie libre Φ s'écrit : $d\Phi = -S dT + F dL$.

1-3- Montrer que la relation de Clapeyron relative au coefficient calorimétrique λ s'écrit :

$$\lambda = -T \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_L$$

En déduire que : $\lambda = \alpha s E T$.

1-4- Montrer que le coefficient calorimétrique c_L ne dépend pas de L .

Dans la suite, on supposera que c_L est constante dans le domaine de variation de la température.

2- Montrer que les variations élémentaires de l'énergie interne U et de l'entropie S lors d'une évolution faisant varier la température de dT et la longueur du câble de dL s'écrivent :

$$dU = m c_L dT + s E \left(\frac{L - L_0}{L_0} + \alpha T_0 \right) dL \quad \text{et} \quad dS = \frac{m c_L}{T} dT + s E \alpha dL$$

3- Le câble métallique évolue en contact avec un thermostat de température T_0 . Il est soumis à une force de traction variant réversiblement de la valeur 0 à F . Sous l'effet de cette force, la longueur du câble subit une modification d'une valeur initiale $L_i = L_0$ à la valeur finale L_f .

3-1- Calculer le travail W reçu par le câble aux cours de cette transformation.

3-2- Déterminer la variation de l'énergie interne du câble. En déduire l'énergie thermique Q échangée au cours de la transformation. Dans quel sens le transfert thermique entre le câble et le milieu extérieur est effectué ?

3-3- Déterminer la variation de l'entropie ΔS lors de cette transformation. Calculer ΔS et commenter son signe.

On donne : $L_0 = 2 \text{ m}$, $L_f = 2,01 \text{ m}$, $s = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$, $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ et $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$.

4- Le câble est maintenant thermiquement isolé du milieu extérieur. La force de traction exercée, d'une façon réversible ($0 \rightarrow F$), sur le câble, fait évoluer son état d'équilibre de l'état initial (T_0, L_0) à l'état final (T_f', L_f') . Déterminer la température finale T_f' du câble. Calculer T_f' et commenter le signe de $\Delta T = T_f' - T_0$.

On donne : $L_0 = 2 \text{ m}$, $L_f' = 2,02 \text{ m}$, $T_0 = 298 \text{ K}$, $\rho_0 = 7,8 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ et $c_L = 459 \text{ JK}^{-1} \text{ kg}^{-1}$.

Fin de l'épreuve.