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.

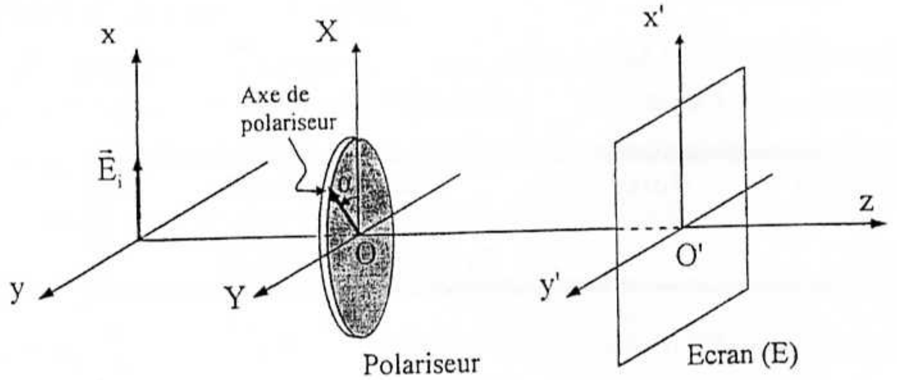

Figure 1

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 : $\varphi = (n_e - n_o)\frac{\omega}{c}e$.

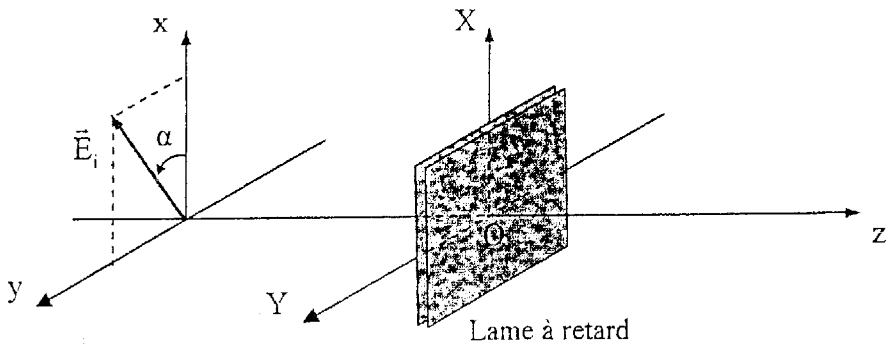

Figure 2

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

<u>**PROBLEME II**</u> : THERMODYNAMIOUE

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).

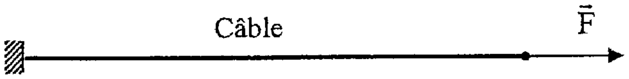

Figure 3

Pour tout état caractérisant le câble, sa température thermodynamique T est supposée uniforme. A l'état d'équilibre de référence ($T_0 = 298$ K et F = 0 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 :

$$dU = m c_L\,dT + sE\left(\frac{L-L_0}{L_0} + \alpha T_0\right)dL \qquad \text{et} \qquad dS = \frac{m c_L}{T}\,dT + sE\alpha\,dL.$$

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

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

Fin de l'épreuve.