REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

الجمـــــهـورية التونسيـــة
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

CONCOURS D'ACCES AU CYCLE PREPARATOIRE AU CONCOURS D'AGREGATION DE SCIENCES PHYSIQUES (option : Physique).

SESSION 2016

EPREUVE DE PHYSIQUE N° 1

MECANIQUE

Durée : 1H30

Date: Samedi 7 Mai 2016

- *L'usage d'une calculatrice électronique de poche est autorisé.*
- *Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits.*

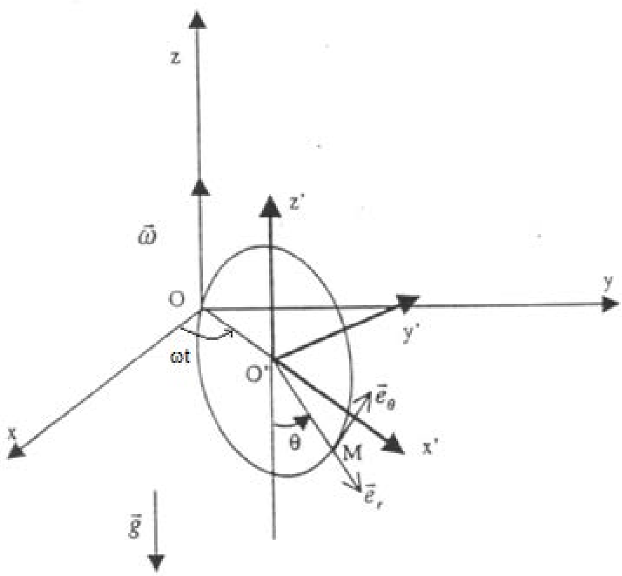
Tournez la page S.V.P

Détermination de l'équation du mouvement d'un mobile par différentes méthodes

Une circonférence (C) de centre *O'* et de rayon *a*, située dans le plan vertical, tourne autour d'une de ses tangentes verticales, *Oz*, d'un mouvement de rotation uniforme, défini par le vecteur rotation $\vec{\omega}$.

Un anneau *M* de masse *m*, assimilé à un point matériel, est mobile sans frottement sur cette circonférence. On désigne par θ l'angle que fait *O'M* avec la verticale descendante passant par *O'*. L'angle θ est compté positivement dans le sens indiqué sur le schéma ci-dessous.

On note $\Re(Oxyz)$ le référentiel galiléen et $\Re'(O'x'y'z')$ le référentiel lié à la circonférence (C).



I. Utilisation de la relation fondamentale de la dynamique.

I. 1. Ecrire la relation fondamentale de la dynamique dans le référentiel $\Re'(O'x'y'z')$ lié à la circonférence et en rotation dans le référentiel galiléen $\Re(Oxyz)$. On notera $\vec{F}_{ie}$ et $\vec{F}_{ic}$ les forces d'inertie d'entrainement et de Coriolis, et $\vec{R}$ la réaction de (C) sur *M*.

Dans la suite toutes les relations vectorielles seront écrites dans la base $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_{y'})$.

I. 2. a. Montrer que $\vec{F}_{ie}$ est colinéaire à $\vec{e}_{x'}$ et exprimer sa norme en fonction de *θ, m, a* et ω (norme du vecteur $\vec{\omega}$).

I. 2. b. Montrer que $\vec{F}_{ic}$ est colinéaire à $\vec{e}_{y'}$ et exprimer sa norme en fonction de *m, θ, ω* et *v* où *v* est la norme de la vitesse de *M* dans le référentiel $\Re'(O'x'y'z')$.

I. 2. c. Montrer que la réaction $\vec{R}$, de la circonférence sur *M*, n'a pas de composante le long de direction $\vec{e}_\theta$.

I. 3. Projeter la relation obtenue en (I. 1) sur le vecteur $\vec{e}_\theta$ de la base locale des coordonnées polaires planes dans le plan (x'O'z') et en déduire l'équation différentielle vérifiée par l'angle θ. Montrer que la relation obtenue peut se mettre sous la forme : $a\dfrac{d^2\theta}{dt^2} = f(\theta)$

où la fonction $f(\theta)$ est à déterminer.

II. Utilisation du moment cinétique.

II. 1. Définir le moment cinétique en *O*' du point M dans son mouvement dans $\Re'(O'x'y'z')$. Montrer qu'il est colinéaire à $\vec{e}_{y'}$ et exprimer sa composante en fonction de *a*, *m* et $\dfrac{d\theta}{dt}$.

II. 2. Rappeler le théorème du moment cinétique utilisé en référentiel non galiléen $\Re'(O'x'y'z')$.

II. 3. L'appliquer pour retrouver l'équation différentielle du mouvement.

III. Utilisation de l'énergie mécanique.

III. 1. Calculer la fonction énergie potentielle U_1 dont dérive la force d'inertie d'entrainement. Exprimer U_1 en fonction de *x*', abscisse de *M* sur l'axe *O'x'*, puis en fonction de θ en prenant $U_1(\theta = 0) = 0$.

III. 2. Calculer la fonction énergie potentielle U_2 dont dérive le poids de *M*. Exprimer U_2 en fonction de *z*', abscisse de *M* sur l'axe (*O'z'*), puis en fonction de θ en prenant $U_2(\theta = 0) = 0$ (on négligera la variation de l'accélération de pesanteur $\vec{g}$ avec l'altitude).

III. 3. Montrer que les énergies potentielles dont dérivent la réaction $\vec{R}$ et la force d'inertie de Coriolis $\vec{F}_{ic}$ sont des constantes, que l'on fixera à 0 dans la suite du problème.

III. 4. Ecrire, en la justifiant, la conservation de l'énergie et retrouver l'équation différentielle du mouvement.

IV. Etude de l'équilibre relatif.

IV. 1. Montrer que les positions d'équilibre θ_E sont solutions de l'équation suivante :

$$a\omega^2(1+\sin\theta_E) = g\tan g\theta_E$$

IV. 2. Représenter sur un même graphe les variations des deux membres de l'équation ci-dessus en fonction de θ_E et indiquer sur ce graphe les positions d'équilibre.

IV. 3. On désire que l'équilibre stable corresponde à $\theta = \theta_E = 30°$. Quelle doit être alors la valeur de la vitesse angulaire ω sachant que $a = 0{,}2$ *m*, $g = 10$ m.s^{-2}?

****Fin de l'épreuve****

REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

الجمـــــهـورية التونسيـــة
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

CONCOURS D'ACCES AU CYCLE PREPARATOIRE AU CONCOURS D'AGREGATION DE SCIENCES PHYSIQUES (option : Physique).

SESSION 2016

EPREUVE DE PHYSIQUE N° 2

OPTIQUE

Durée : 1H30 Date: Samedi 7 Mai 2016

- *L'usage d'une calculatrice électronique de poche est autorisé.*
- *Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits.*

Tournez la page S.V.P

A- FIBRE OPTIQUE A SAUT D'INDICE

Une fibre optique, de longueur l, est constituée d'un cœur cylindrique, d'indice n_c, entouré d'une gaine d'indice $n_g < n_c$ (figure 1). On envoie à l'entrée de cette fibre un rayon lumineux sous une incidence i_0.

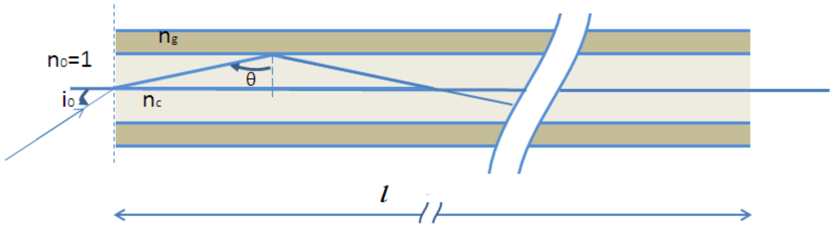


Figure 1

1- Rappeler les lois de Descartes pour la réfraction et la réflexion.

2- Montrer que la condition de guidage du rayon lumineux dans la fibre introduit une majoration de l'angle i_0 par un angle i_m que l'on déterminera (tout rayon lumineux tombant sur l'entrée de la fibre sous un angle d'incide $i < i_m$ est transmis jusqu'à la sortie).
($\sin i_m$) est appelé ***ouverture numérique de la fibre***.

3- La fibre est éclairée par un faisceau conique monochromatique convergent à l'entrée de la fibre, de demi-angle au sommet i_0 (figure 2).

a- Exprimer la vitesse de propagation de la lumière dans le cœur de la fibre en fonction de la vitesse de la lumière dans le vide, notée c, et de l'indice n_c du cœur.

b- Pour un angle d'incidence i_0 vérifiant la condition de guidage, déterminer la durée τ_{i0} de propagation dans la fibre en fonction de n_c, l ,c et sin θ .

c- Quel est le rayon qui traverse le plus rapidement la fibre ? Calculer la durée de parcours τ_1 de ce rayon.

d- Quel est le rayon qui met le plus de temps à traverser la fibre ? Calculer la durée de parcours τ_2 de ce rayon en fonction de l, c, n_c et sin θ.

e- En déduire l'intervalle de temps $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ entre le temps de parcours minimal et maximal en fonction de l, c, n_c et n_g.

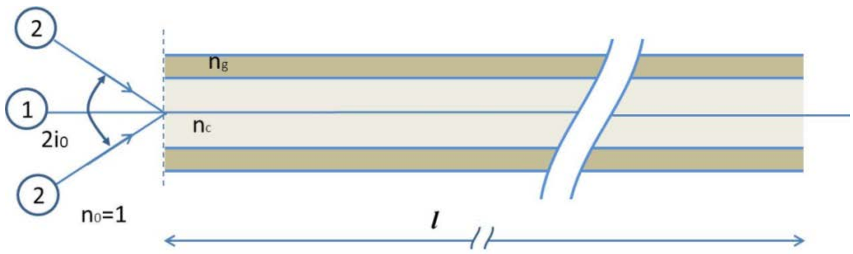


Figure 2

f- On injecte à l'entrée de la fibre une impulsion lumineuse monochromatique, de durée τ_0 très faible devant $\Delta\tau$, formée par un faisceau de rayons ayant un angle d'incidence compris entre 0 et i_0, La figure 3 représente l'allure du signal lumineux en fonction du temps.

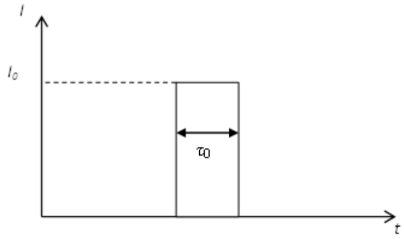


Figure 3

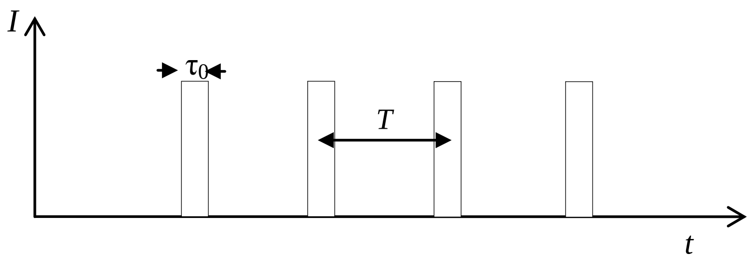


Figure 4

Reprendre la figure 3 en y ajoutant l'allure du signal lumineux à la sortie de la fibre.
Quel serait l'élargissement temporel de l'impulsion à la sortie de la fibre ?

g- Soit une information échantillonnée formée d'un train d'impulsions ayant un temps d'échantillonnage T (figure 4). A quelle condition cette information peut- elle être transportée par la fibre sans chevauchement des impulsions à la sortie?

h- Dans la communication par internet, on utilise des fibres optiques. Quelle est la longueur maximale l_0 de la fibre assurant les conditions optimales de transport de l'information avec un débit de K bits par seconde ?

B- INTERFERENCES LUMINEUSES

I- Préliminaires

On considère deux ondes électromagnétiques. En notation complexe, elles sont décrites en tout point M de l'espace par les champs électriques :

$$\vec{E}_1(M) = a_1 e^{j(\omega_1 t - \varphi_1(M))}\,\vec{e}_1 \qquad \text{et} \qquad \vec{E}_2(M) = a_2 e^{j(\omega_2 t - \varphi_2(M))}\,\vec{e}_2$$

On notera : $\varphi(M) = \varphi_2(M) - \varphi_1(M)$.

1- Donner l'expression du champ résultant $\vec{E}(M)$.

2- On définit l'éclairement ou l'intensité lumineuse de l'onde résultante au point M par :

$$I(M) = \langle \vec{E}(M).\vec{E}^*(M)\rangle_t .$$

a- Calculer $I(M)$.

b- Montrer que, pour $\omega_1 \neq \omega_2$, l'intensité lumineuse est : $I(M) = I_1(M) + I_2(M)$.
Conclure.

c- Dans le cas où $\omega_1 = \omega_2$ (***ondes isochrones***),

- à quelle(s) condition(s) peut il y avoir interférence.
- déterminer le facteur de contraste (ou de visibilité) défini par $C = \dfrac{I_{Max} - I_{Min}}{I_{Max} + I_{Min}}$

d- Dans le cas où $\omega_1 = \omega_2$, $\vec{e}_1 = \vec{e}_2 = \vec{e}$ (***cohérence de polarisation***), et $a_1 = a_2 = a_0$, montrer que $I(M) = 2I_0(1 + \cos(\varphi(M)))$ avec $I_0 = a_0^2$.

II- Interférence à grande distance de deux ondes sphériques

On considère l'interférence de deux ondes sphériques isochrone, issues de deux sources ponctuelles S_1 et S_2. En un point M ***suffisamment éloigné*** des sources S_1 et S_2 (figure 5) ces ondes peuvent être décrites par les champs électriques :

$$\vec{E}_1(M) = a_0 e^{j(\omega t - k r_1)}\,\vec{e} \quad \text{et} \quad \vec{E}_2(M) = a_0 e^{j(\omega t - k r_2)}\,\vec{e}$$

avec $k = \dfrac{\omega}{c} = \dfrac{2\pi}{\lambda}$; λ étant la longueur d'onde.

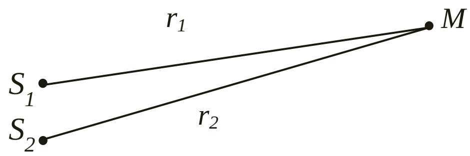


Figure 5

1- a- Exprimer l'intensité lumineuse $I(M)$ de l'onde résultante en M en fonction de $I_0 = a_0^2$, λ et de la différence de marche $\delta = r_2 - r_1$. Montrer que les surfaces d'égale intensité sont des hyperboloïdes d'axe (S_1S_2).

b- Exprimer $I(M)$ en fonction de I_o et de l'ordre d'interférence p défini par $p = \dfrac{\delta}{\lambda}$.

2- Les deux sources S_1 et S_2, distantes de $a = S_1S_2 = 1mm$ sont éclairées par une lumière monochromatique, de longueur d'onde $\lambda = 0{,}55\ \mu m$, issue d'une source primaire S. L'observation s'effectue dans un plan E situé à une distance D=$2m$ de S_1S_2.

a- Le plan d'observation E est le plan E_1 // à S_1S_2 (figure 6).

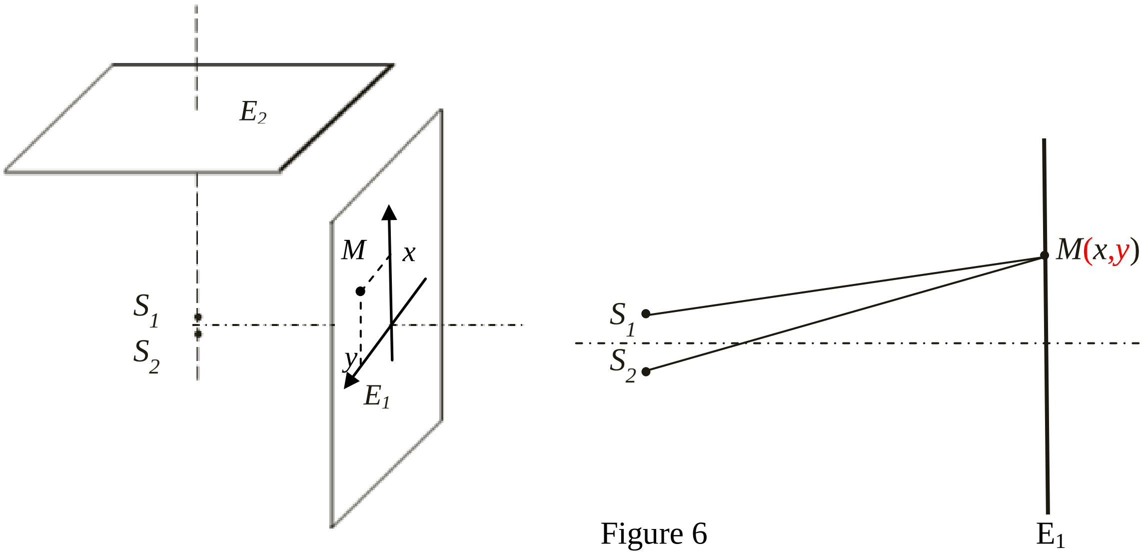


Figure 6

- Exprimer δ en fonction de a, x et D, où x est la distance de M par rapport au plan médiateur de S_1S_2.
- Exprimer l'ordre d'interférence p. Donner l'interfrange i qui correspond à un déplacement Δx de M sur l'écran pour lequel l'ordre varie de 1 (Δp=1). Calculer i.

b- L'observation se fait maintenant dans le plan E_2, perpendiculaire à S_1S_2 et situé à la distance $D = 2m$ du milieu de S_1S_2 ; (figure 7).

- Décrire, sans faire de calculs, la forme des franges observées sur l'écran ? justifier la réponse ?
- Exprimer δ en fonction de α et a, puis, en fonction de ρ, a et D.
- En déduire l'ordre d'interférence et calculer sa valeur maximale.
- Calculer le rayon du 3ème anneau brillant.

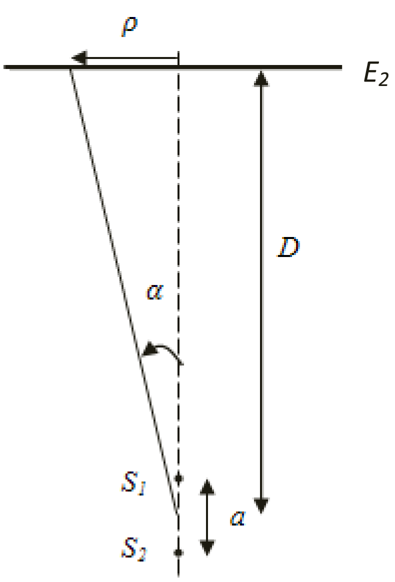


Figure 7

****Fin de l'épreuve****

REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

الجمـــــهـورية التونسيـــة
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

CONCOURS D'ACCES AU CYCLE PREPARATOIRE AU CONCOURS D'AGREGATION DE SCIENCES PHYSIQUES (option : Physique).

SESSION 2016

EPREUVE DE PHYSIQUE N° 3

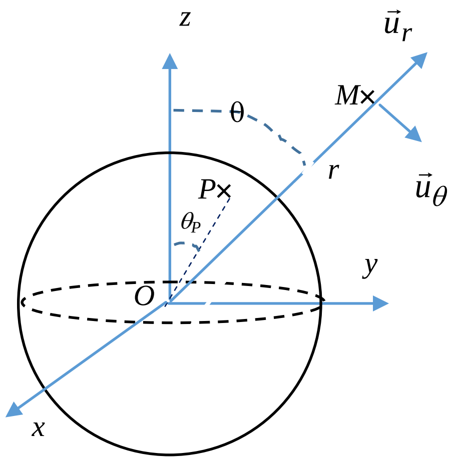
ELECTROMAGNETISME

Durée : 1H30 Date: Samedi 7 Mai 2016

- *L'usage d'une calculatrice électronique de poche est autorisé.*
- *Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits.*
- *Le sujet comporte deux parties indépendantes. Le numéro de chaque question de l'énoncé doit être attribué à la réponse correspondante.*
- *Un résultat donné dans l'énoncé* ***peut être utilisé*** *dans la suite,* ***même s'il n'a pas pu être démontré****.*
- ***Seul*** *l'usage de la notation de l'énoncé est autorisé, toute* ***autre*** *notation non définie ne sera* ***pas acceptée*** *lors de la correction.*
- *Le symbole d'une grandeur vectorielle est conventionnellement surmonté par une flèche (exemple : $\overrightarrow{rot}(\overrightarrow{E})$). Ainsi, une notation non fléchée comme rot(E) sera totalement* ***ignorée***

Tournez la page S.V.P

Partie A : Modélisation simple d'une molécule polaire



A grande distance, une molécule polaire est modélisée par une distribution volumique de charges répartie sur un volume sphérique τ de rayon R, avec une densité non uniforme :

$$\rho(P) = \rho_0 \cos(\theta_p)\,,\ \rho_0 \text{ est une constante.}$$

Le champ électrique créé par cette distribution en un point M, situé à la distance r du centre (voir figure ci-contre), est noté $\vec{E}(M)$

I. Etude de symétrie

1. Chercher la valeur de la charge totale Q de la distribution considérée.

2. Trouver, s'il en existe, les plans de symétrie et les plans d'antisymétrie qui passent par M.

3. Que peut-on en déduire concernant $\vec{E}(M)$?

4. Rappeler l'énoncé du théorème de Gauss en électrostatique.

5. Peut-on utiliser le théorème de Gauss pour chercher $\vec{E}(M)$? Justifier la réponse.

II. Le barycentre G et le moment dipolaire électrique $\vec{p}$ d'une distribution volumique de charges de densité $\rho(P)$ sont donnés respectivement par les expressions (1) et (2) suivantes:

$$\overrightarrow{OG} = \frac{\iiint_\tau \rho(P)\overrightarrow{OP}d\tau}{\iiint_\tau \rho(P)d\tau} \ (1) \qquad ; \qquad \vec{p} = \iiint_\tau \rho(P)\overrightarrow{OP}d\tau \quad (2)$$

1. Pour la partie de la sphère définie par $0 \le \theta_P \le \pi/2$:
   a. Calculer la charge Q_1.
   b. Montrer que le barycentre G_1 de cette partie est défini par : $\overrightarrow{OG_1} = \frac{1}{2}R\vec{u}_z$
2. En déduire, sans faire de calcul supplémentaire, la charge Q_2 et la position du barycentre G_2 du reste de la distribution de charges.
3. Montrer, en utilisant la relation (2), que le moment dipolaire de la sphère chargée est donné par :

$$\vec{p} = \frac{1}{3}\pi R^4 \rho_0 \vec{u}_z$$

4. En considérant la distribution de charges comme étant équivalente aux deux charges Q_1 et Q_2 supposées ponctuelles situées respectivement en G_1 et G_2, retrouver l'expression du moment dipolaire.

III. On rappelle qu'un dipôle électrostatique de moment dipolaire $\vec{p}$, placé en un point O, crée en un point M très éloigné de O (approximation dipolaire) un potentiel $V(M)$ donné par :

$$V(M) = \frac{\vec{p}.\overrightarrow{OM}}{4\pi\varepsilon_0 OM^3}$$

1. Exprimer le potentiel $V(M)$ créé par la distribution sphérique de charges en point M très éloigné du centre de la sphère ($r \gg R$) en fonction de R, r, ρ_0 et θ.

2. En déduire l'expression de $\vec{E}(M)$.

3. La démarche utilisée pour calculer $\vec{E}(M)$ serait-elle valable pour déterminer le champ au centre de la sphère ? Justifier la réponse.

Partie B : Propagation d'une onde électromagnétique dans un diélectrique.

Une onde électromagnétique plane monochromatique de pulsation ω se propageant dans le vide rencontre un milieu diélectrique sans charges libres et de perméabilité magnétique égale à celle du vide (μ_0) qui occupe l'espace z ≥0 (voir figure ci-dessous). Ce diélectrique est linéaire, homogène et isotrope.On admettra que le vecteur champ électrique dans le milieu est de la forme :

$$\vec{E} = E_m(z) e^{i\omega t} \vec{u}_y$$

On rappelle que l'indice complexe du milieu est relié à sa permittivité relative par la relation : $n^2 = \varepsilon_r$ avec $n = n' - in''$ et $\varepsilon_r = \varepsilon_r' - i\varepsilon_r''$

1. Donner les équations de Maxwell vérifiées par le champ électromagnétique dans le milieu et montrer que l'équation de propagation du champ électrique dans ce milieu est : $\Delta\vec{E} + k_0^2 \varepsilon_r \vec{E} = \vec{0}$; avec $k^2 = \varepsilon_r k_0^2 = n^2 k_0^2$ et $k_0 = \dfrac{\omega}{c}$

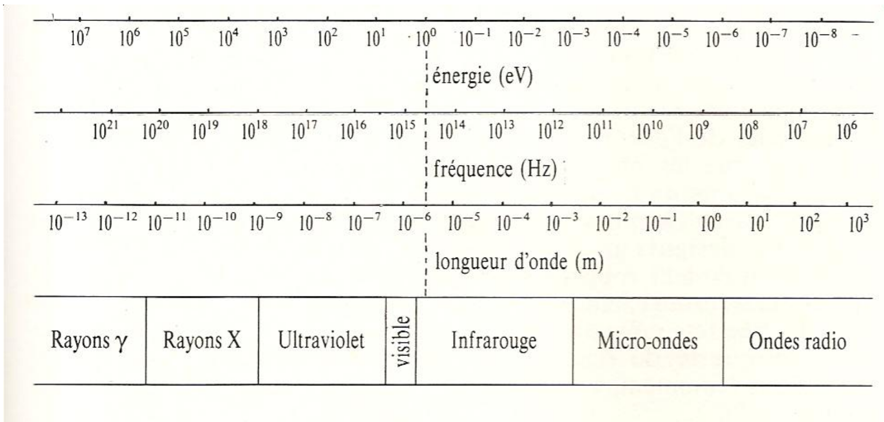
2. En déduire l'**é**quation différentielle que doit vérifier $E_m(z)$

3. Montrer que le champ électrique est donné par : $\vec{E} = E_0 e^{-n''\frac{\omega}{c}z} e^{i\omega\left(t - \frac{n'}{c}z\right)} \vec{u}_y$.

4. Expliquer pourquoi le terme n'' de l'indice complexe est appelé coefficient d'extinction.

5. Dans l'eau de mer, à la température de 20°C, toutes les ondes de fréquences limitées entre 10GHz et 4×10^5GHz disparaissent pratiquement avant de traversée une couche d'épaisseur z_1 = 1mm. À la profondeur z_1, l'amplitude de l'onde de fréquence ν = 10GHz se réduit de 37%.

a. En s'aidant de la figure ci-dessous, identifier la partie du spectre du rayonnement électromagnétique dans laquelle se situe l'onde de fréquence ν.



b. Chercher, à cette fréquence de 10 GHz, la valeur de l'indice d'absorption n'' de l'eau de mer.

c. Sachant que la température T de l'eau de mer diminue en fonction de la profondeur à partir de sa valeur à la surface, proposer une interprétation à cette décroissance : $T(z = 0) > T(z > 0)$.

5. Déterminer le champ magnétique associé à l'onde.

6. Déterminer le vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$ et rappeler la signification physique de ce vecteur.

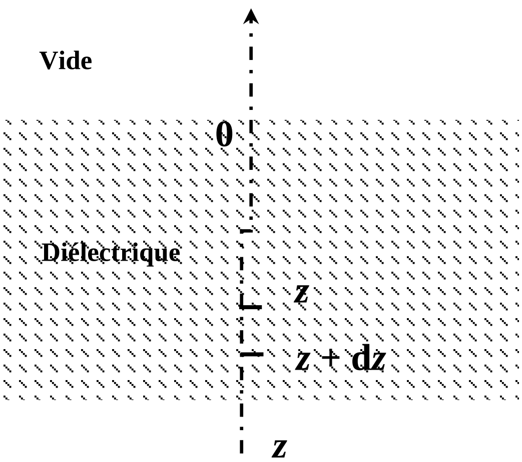
7. Les puissances électromagnétiques moyennes qui traversent les surfaces élémentaires de même aire S situées respectivement dans les plans d'onde de côtes z et z+dz sont notées $\mathcal{P}_m(z)$ et $\mathcal{P}_m(z+dz)$; (voir figure ci-dessous).

a- Déterminer $\mathcal{P}_m(z)$ et $\mathcal{P}_m(z+dz)$.

b- En déduire que la puissance perdue par l'onde par unité de longueur suivant la direction de propagation dans le diélectrique est donnée par :

$$\frac{dP_m(z)}{dz} = -n'n''\omega E_0^2 e^{-2n''k_0 z} S$$

c- Calculer la puissance volumique moyenne $\left\langle \frac{d\mathcal{P}}{d\tau} \right\rangle = \left\langle \vec{j}_p . \vec{E} \right\rangle$ cédée au diélectrique par l'onde ; $\vec{j}_p$ étant le vecteur densité volumique de courant de polarisation. Conclure.



******Fin de l'épreuve******

REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

الجمـــــهـورية التونسيـــة
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

CONCOURS D'ACCES AU CYCLE PREPARATOIRE AU CONCOURS D'AGREGATION DE SCIENCES PHYSIQUES (option : Physique).

SESSION 2016

EPREUVE DE PHYSIQUE N° 4

THERMODYNAMIQUE

Durée : 1H30 Date: Samedi 7 Mai 2016

- *L'usage d'une calculatrice électronique de poche est autorisé.*
- *Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits.*

Tournez la page S.V.P

THERMODYNAMIQUE

Rappel

- F étant une fonction d'état dont la différentielle s'écrit en fonction des variables d'état X et Y comme : $dF = A\,dX + B\,dY$, alors $\left(\frac{dA}{dY}\right)_X = \left(\frac{dB}{dX}\right)_Y$

- Pour un système fermé subissant une transformation donnée caractérisée par une variable extensive X et sa variable intensive conjuguée Y,
  - le travail élémentaire reçu par le système est donné par : $\delta W = Y\,dX$ (voir exemples ci-dessous).

Variable extensive *X*	Variable intensive *Y*	Travail élémentaire $\delta W = Y\,dX$
Volume *V*	Pression -*P*	$\delta W = -PdV$
Tension *U*	Charge *q*	$\delta W = qdU$
Déplacement *x*	Force *F*	$\delta W = Fdx$
Moment magnétique *M*	Champ magétique *B*	$\delta W = BdM$

  - L'identité thermodynamique s'écrit : $dU = T\,dS + \sum Y_i\,dX_i$; *U*, *T* et *S* étant respectivement l'énergie interne, la température et l'entropie du système.

- Pour un système recevant une quantité de chaleur δQ au cours d'une transformation réversible, son entropie subit la variation $dS = \frac{\delta Q}{T}$.

I- Application des deux principes de la thermodynamique à un fluide homogène

On considère un fluide homogène qui subit une transformation infinitésimale réversible. On exprime la quantité de chaleur reçue par ce fluide de deux façons à l'aide des coefficients C_v, C_P, *l* et *h* :

$$\delta Q = C_v dT + l\,dV.$$

$$\delta Q = C_P dT + h\,dP.$$

Les seuls travaux échangés sont ceux des forces de pression.

1- a) Exprimer dS et dU en fonction des variables T et V.

b) Exprimer dS et dH en fonction des variables T et P. H étant l'enthalpie du système définie par $H=U + PV$.

2- Exprimer les quantités l, h, $\left(\frac{\partial C_v}{\partial V}\right)_T$ et $\left(\frac{\partial C_p}{\partial P}\right)_T$ en fonction de T et des dérivées partielles par rapport à la température de P et de V.

3- Etablir la relation de Mayer $C_p - C_v = \mathrm{T}\left(\frac{dV}{dT}\right)_P \left(\frac{dP}{dT}\right)_V$.

4- Application : On rappelle l'équation d'état de Van Der Waals :

$$(P + \frac{an^2}{V^2})(V - nb) = nRT$$

a- En supposant que C_v est indépendante de la température, montrer que l'énergie interne de ce gaz s'écrit, à une constante près comme : $U = C_v T - \frac{an^2}{V}$.

b- Une mole de ce gaz subit une détente de Joule Gay-Lussac (détente iso-énergétique) qui fait passer son volume de V_0 à $2V_0$. Déterminer la variation de la température de ce gaz au cours de cette détente.

II- Désaimantation adiabatique d'une substance paramagnétique : Refroidissement

L'obtention de très basses températures fait appel à la désaimantation de substances paramagnétiques.

Soit une mole d'une telle substance. Sous l'influence d'une excitation magnétique H, il apparaît dans cette substance un moment magnétique total M qui dépend de l'excitation magnétique H et de la température T. L'énergie électromagnétique $\delta W'$ échangée par cette mole avec le milieu extérieur au cours de son aimantation est de la forme $\delta W' = \mu_0 H dM$

Dans la suite, on négligera les variations de volume de la substance et on supposera que les transformations ont lieu à pression constante. On exprime la quantité de chaleur échangée par cette mole avec l'extérieur de deux façons à l'aide des coefficients C_H, C_M, l et k :

$$\delta Q = C_H\, dT + k\, dH$$
$$\delta Q = C_M\, dT + l\, dM$$

1- Exprimer la différence C_H-C_M et le coefficient k en fonction de l , $\left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_H$ et $\left(\frac{\partial M}{\partial H}\right)_T$.

2- En appliquant les deux principes de la thermodynamique, exprimer l et $\left(\frac{\partial C_M}{\partial M}\right)_T$ en fonction de $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_M$ et de $\left(\frac{\partial^2 H}{\partial T^2}\right)_M$.

3- Pour un corps paramagnétique parfait, le moment magnétique $M(H,T)$ est fonction de la quantité $\frac{H}{T}$; $\left(M(H,T) = M\left(\frac{H}{T}\right)\right)$.

Déterminer l et $\left(\frac{\partial C_M}{\partial M}\right)_T$.

Que peut –on dire de l'énergie interne ?

4- On fait varier de façon adiabatique l'aimantation de cette substance. Ecrire la relation entre la variation dM du moment magnétique et la variation de température dT qui en résulte.

5- On considère une substance magnétique dont l'équation d'état est : $M = C\frac{H}{T}$, où C est une constante.

Montrer que la désaimantation adiabatique d'une mole de cette substance, de moment magnétique M_0, s'accompagne d'un abaissement ΔT de température. Calculer ΔT.

*****Fin de l'épreuve*****