

# CONCOURS CASTing

- Session 2012 -

## ÉPREUVE ÉCRITE DE PHYSIQUE

### 2<sup>ème</sup> PARTIE : EXERCICES

Documents interdits, calculatrices autorisées

Durée conseillée : 1h30

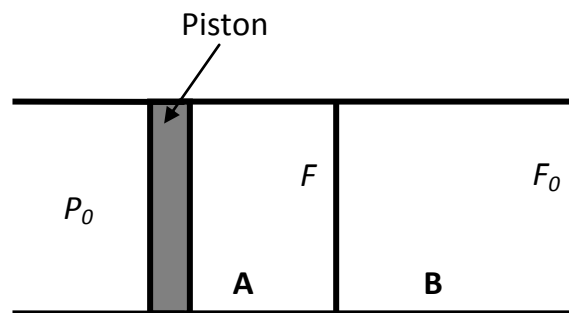
Le sujet contient 6 pages (hors page de garde)

## DEUXIÈME PARTIE : EXERCICES

Le candidat doit traiter **2 exercices au choix** parmi les 3 proposés. Il doit préciser leurs numéros sur la première page de sa copie.

### Exercice 1 : Piston à l'intérieur d'un cylindre composé de deux compartiments

Un cylindre horizontal est fermé à l'une de ses extrémités par une paroi fixe  $F_0$  et à l'autre extrémité par un piston qui peut coulisser sans frottement le long du cylindre. Le cylindre est séparé en deux compartiments A et B par une paroi fixe  $F$ . Sur la face extérieure du piston s'exerce la pression atmosphérique  $P_0$  qu'on suppose uniforme et constante. Dans la situation initiale, le compartiment A de volume  $V_A = V_0$  contient  $n$  moles d'un gaz parfait diatomique, le compartiment B de volume  $V_B$  est vide. Les parois du cylindre et le piston sont imperméables à la chaleur et de capacités calorifiques négligeables.

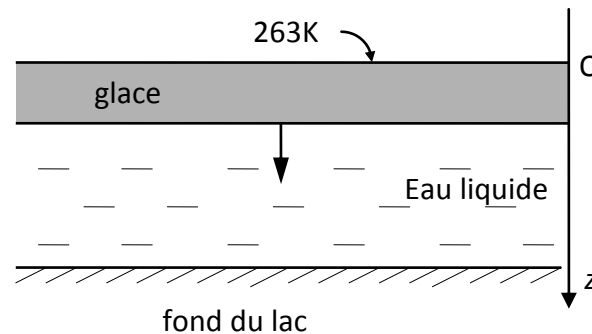


1. Préciser la pression et la température initiales dans le compartiment A. Soit  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$  le rapport, supposé constant, des capacités calorifiques molaires du gaz parfait diatomique, respectivement à pression constante et volume constant. Justifier la valeur de  $\gamma = 1,4$ .
2. On perce un orifice dans la paroi fixe  $F$ . Le volume  $V_B$  est suffisamment petit et inférieur à une valeur-seuil  $V_{BS}$  permettant au piston de s'équilibrer sans se coller à la paroi  $F$ .
  - 2.a. En calculant par deux méthodes différentes le travail  $W_1$  échangé avec l'extérieur par le gaz, déterminer la pression finale  $P_1$ , le volume final  $V_1$ , la température finale  $T_1$  du gaz enfermé dans le cylindre A+B quand le nouvel état d'équilibre est atteint : on exprimera ces grandeurs en fonction de toutes ou de certaines des données  $P_0$ ,  $n$ ,  $V_0$ ,  $V_B$ ,  $\gamma$  et  $R$ .
  - 2.b. Calculer l'entropie  $S_1$  créée. Le résultat est-il conforme au second principe de la thermodynamique ?
  - 2.c. Déterminer la valeur-seuil  $V_B = V_{BS}$  correspondant au cas où le piston vient juste se coller à la paroi  $F$ .

3. On considère maintenant que le volume  $V_B$  est supérieur à  $V_{BS}$ .
- 3.a. En calculant par deux méthodes différentes le travail  $W_2$  échangé avec l'extérieur par le gaz, déterminer le volume final  $V_2$ , la pression finale  $P_2$ , la température finale  $T_2$  du gaz enfermé dans le cylindre dans ce nouvel état d'équilibre. On exprimera ces grandeurs en fonction de toutes ou de certaines des données  $P_0$ ,  $n$ ,  $V_0$ ,  $V_B$ ,  $\gamma$  et  $R$ .
- 3.b. Calculer l'entropie  $S_2$  créée. Le résultat est-il conforme au second principe de la thermodynamique ?

## Exercice 2 : Lac gelé

On veut déterminer le temps nécessaire pour qu'un lac gèle complètement avec une température atmosphérique de 263 K.



On suppose que la surface supérieure de la plaque de glacé formée (au contact de l'air) est à la température  $T_1 = 263$  K. On suppose que la vitesse de croissance de la plaque gelée est très lente de telle façon que l'on puisse supposer que l'équilibre thermique est atteint dans la plaque.

On donne :

- la conductivité thermique de la glace  $\lambda = 2,2$  W/(m.K)
- la chaleur latente de fusion  $L = 334$  kJ/kg
- la masse volumique de l'eau  $\rho_e = 1000$  kg.m<sup>-3</sup>
- la masse volumique de la glace  $\rho_g = 900$  kg.m<sup>-3</sup>
- les températures de changement de phase de l'eau à pression atmosphérique : 0 °C et 100 °C.

1. Préciser la température  $T_2$  de la face inférieure de la couche de glace (au contact de l'eau liquide).
2. Déterminer le flux thermique par unité de surface dans la glace en fonction de  $\lambda$ ,  $T_1$ ,  $T_2$  et l'épaisseur  $z$  de la plaque.
3. En déduire le temps nécessaire pour la solidification complète de 0,5 m d'eau. En fera un bilan d'énergie entre les intervalles de temps  $t$  et  $t + dt$  sur la couche d'épaisseur  $dz$  qui passe de l'état liquide à l'état solide.
4. Exprimer la vitesse de croissance  $V$  de la plaque. Discuter la validité de l'hypothèse de l'équilibre thermique instantané dans la glace ?

### Exercice 3 : Analyseur à pénombre et polarimétrie

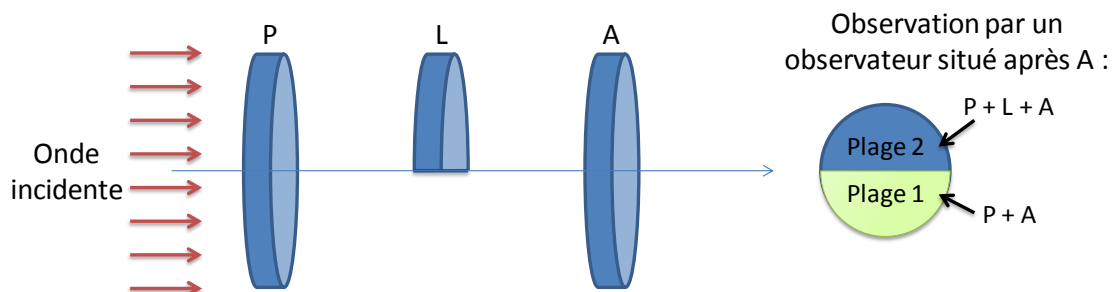
On définit un repère orthonormé  $Oxyz$ . On considère une onde plane monochromatique progressive de pulsation  $\omega$ , se propageant selon la direction  $Oz$ .

On rappelle qu'une lame demi-onde est une lame biréfringente qui introduit un déphasage de  $\pi$ . Ainsi un état de polarisation incident polarisé linéairement est transformé, après passage à travers une telle lame, en un état de polarisation linéaire symétrique par rapport à l'axe rapide de la lame.

#### 1. Analyseur à pénombre

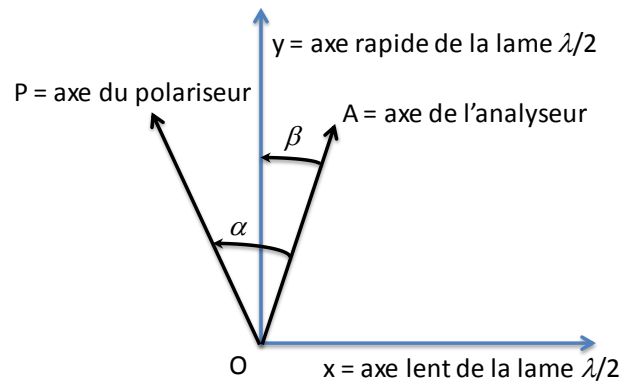
Il est difficile de déterminer avec précision la direction d'une vibration rectiligne avec un seul analyseur. Il faut apprécier soit un maximum (analyseur parallèle) soit un minimum (analyseur perpendiculaire) de luminosité. L'œil est beaucoup plus performant lorsqu'il s'agit de comparer des plages de luminosités différentes. C'est ce qu'on souhaite faire avec un analyseur à pénombre.

Un analyseur à pénombre est composé de deux polariseurs linéaires (le premier sera appelé polariseur P et le second analyseur A) avec entre les deux une lame-demi-onde L disposée sur la moitié du trajet de la lumière. Seule la moitié du faisceau de l'onde transmise par le polariseur passe à travers la lame L, de sorte qu'à la sortie du dispositif, on obtient deux plages lumineuses demi-circulaires séparées par leur diamètre (comme illustré sur la figure suivante).



Le dispositif est éclairé par une onde plane monochromatique. Le polariseur (respectivement l'analyseur) transmet une onde polarisée rectilignement, d'intensité  $I_0$  (respectivement  $I$ ), dont le champ électrique est dirigé suivant la direction de transmission du polariseur  $OP$  (respectivement de l'analyseur  $OA$ ). Les lignes neutres de la lame L sont confondues avec les directions  $Ox$  (axe lent) et  $Oy$  (axe rapide). Pour la suite, on notera :

- $\alpha$  l'angle entre les directions  $OA$  et  $OP$  :  $\alpha = (\widehat{OA, OP})$
- $\beta$  l'angle entre les directions  $OA$  et  $Oy$  :  $\beta = (\widehat{OA, Oy})$

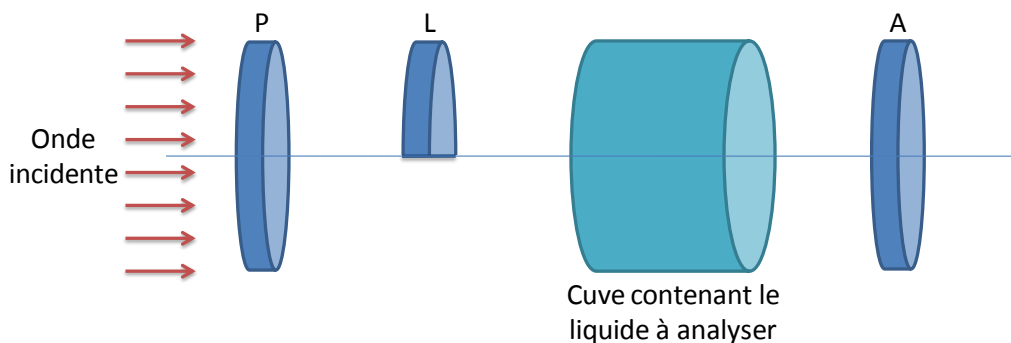


On supposera que les angles  $\alpha$  et  $\beta$  sont différents de 0 et compris entre 0 et  $\pi$ . On négligera l'absorption de P, L et A.

- 1.a. Calculer les intensités lumineuses des deux plages observées en fonction de  $I_0$ ,  $\alpha$  et  $\beta$ .
- 1.b. On suppose connaître l'angle  $\beta$ . On fait tourner l'ensemble lame-analyseur ( $\beta$  reste donc constant), le polariseur restant fixe. Montrer que l'on peut mesurer  $\alpha$  à partir des positions pour lesquelles les deux plages ont mêmes intensités (on donnera l'expression de cette intensité commune dans le cas où  $\beta = \frac{\pi}{30}$ ).
- 1.c. On cherche maintenant à connaître la précision de la mesure. A partir de l'égal éclairage le plus faible (parmi ceux obtenus à la question 2), on fait légèrement tourner l'analyseur d'un angle  $\varepsilon$  (tel que  $\sin \varepsilon \simeq \varepsilon$ ). Donner l'expression des intensités obtenues sur les deux plages puis de leur contraste (défini comme la valeur absolue de la différence des intensités divisées par leur somme). L'œil n'étant sensible qu'à une différence d'intensité relative (définie par  $|I_1 - I_2| / I_1$ ) supérieure à 8%, calculer l'angle  $\varepsilon_{\min}$  minimal qui permet à l'œil de voir une différence de contraste entre les deux plages.

2. Polarimétrie

Un polarimètre de Laurent est un instrument composé d'un analyseur à pénombre dans lequel on ajoute une cuve contenant un liquide dans lequel on a placé une molécule ayant la propriété de faire tourner la polarisation. Le schéma de ce système est donné sur la figure suivante.



L'objectif de ce système est de mesurer l'angle dont le liquide fait tourner la polarisation (l'angle étant proportionnel à la concentration de la molécule, on peut utiliser ce dispositif pour la doser). On note  $\theta$  l'angle dont fait tourner la polarisation (on supposera  $\theta$  compris entre 0 et  $\pi$ ).

- 2.a. Ecrire les intensités lumineuses sur les deux plages en sortie du dispositif.
- 2.b. Ecrire la condition pour que ces deux intensités soient égales et montrer que l'angle de l'analyseur est directement égal à l'angle de rotation de la polarisation par le liquide.