



# Concours

## Mathématiques – Physique & Technologie

### Epreuve de Physique

**Date : 02 Juin 2025**

**Heure : 8 H00**

**Durée : 4 H**

- Cette épreuve comporte 30 pages.
- Il n'est fourni au candidat qu'une seule copie qui doit être rendue à la fin de l'épreuve, même sans réponses.
- L'usage d'une calculatrice non programmable est autorisé.
- L'épreuve comporte quatre parties indépendantes.
- Tout résultat fourni dans l'énoncé peut être admis et utilisé par la suite, même s'il n'a pas été démontré par le candidat.
- Les résultats numériques sans unité ou avec une unité fautive ne seront pas comptabilisés.
- Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.
- Si l'espace consacré à la réponse d'une question semble insuffisant, le candidat peut utiliser la feuille à la fin de l'épreuve en signalant le numéro de la question.

**Données numériques :**

Vitesse de la lumière dans le vide :  $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Perméabilité magnétique du vide :  $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$

Permittivité absolue du vide :  $\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$

Conductivité électrique de l'acier :  $\gamma = 6.10^6 \text{ S.m}^{-1}$

Constante de Stefan :  $\sigma_{St} = 5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

Grandeurs apparaissant dans l'équation de la chaleur, relatives à l'acier :

$\rho = 7850 \text{ kg.m}^{-3}$  ;  $c = 640 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$  ;  $\lambda = 46 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

**Conventions :**

- La grandeur complexe associée à une grandeur réelle  $X$  est notée  $\underline{X}$ .
- Le complexe conjugué de grandeur  $\underline{X}$  est noté  $\underline{X}^*$ .

**Formulaire :**

$$\operatorname{div}(\overrightarrow{\operatorname{rot} X}) = 0$$

$$\sin(a+b) = \sin(a)\cos(b) + \cos(a)\sin(b) \quad ; \quad \sin(a-b) = \sin(a)\cos(b) - \cos(a)\sin(b)$$

$$\cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b) \quad ; \quad \cos(a-b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)$$

## Première Partie : Q.C.M.

Cocher la ou les cases correspondantes aux bonnes réponses.

**Q1.** On cherche à échantillonner le signal  $s(t) = \sin(2\pi f_0 t)$ , où  $f_0 = 1 \text{ kHz}$  sans perte d'information.

Dans quel cas le critère de Shannon est-il vérifié :

- La période d'échantillonnage est égale à 0,1 ms.
- La période d'échantillonnage est égale à 0,1 s.
- La fréquence d'échantillonnage est égale à 1 kHz.
- La fréquence d'échantillonnage est égale à 100 kHz.

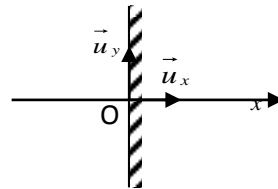
**Q2.** On considère l'onde électromagnétique dans le vide de champ électrique, en notation complexe :

$\vec{E} = E_0 (\vec{u}_x + i\vec{u}_y) e^{i\omega t} e^{-ikz}$ , avec  $k$  un réel positif. Son champ magnétique vaut :

- $\vec{B} = -i \frac{E_0}{c} (\vec{u}_x + i\vec{u}_y) e^{i(\omega t - kz)}$
- $\vec{B} = \frac{E_0}{c} (\vec{u}_y + i\vec{u}_x) e^{i(\omega t - kz)}$
- $\vec{B} = \frac{E_0}{c} [\sin(\omega t - kz)\vec{u}_x + \cos(\omega t - kz)\vec{u}_y]$
- $\vec{B} = \frac{E_0}{c} [\cos(\omega t - kz)\vec{u}_x + \sin(\omega t - kz)\vec{u}_y]$

**Q3.** Une onde progressive plane, monochromatique, de pulsation  $\omega$  et de vecteur d'onde  $\vec{k}$ , se propage dans le vide dans le demi-espace  $x < 0$ . Elle rencontre sous une incidence normale, un milieu parfaitement conducteur occupant le demi-espace  $x \geq 0$ . Les composantes du champ électrique de l'onde incidente s'écrivent :

$$\vec{E}_i = \begin{cases} 0 \\ E_{0y} \cos(kx - \omega t) \\ E_{0z} \cos(kx - \omega t + \varphi) \end{cases}$$



Les composantes du champ électrique réfléchi s'écrivent :

- $\vec{E}_r = \begin{cases} 0 \\ E_{0y} \cos(kx - \omega t) \\ E_{0z} \cos(kx - \omega t + \varphi) \end{cases}$
- $\vec{E}_r = \begin{cases} 0 \\ -E_{0y} \cos(-kx - \omega t) \\ -E_{0z} \cos(-kx - \omega t + \varphi) \end{cases}$
- $\vec{E}_r = \begin{cases} 0 \\ -E_{0y} \cos(-kx - \omega t + \varphi) \\ E_{0z} \cos(-kx - \omega t) \end{cases}$
- $\vec{E}_r = \begin{cases} 0 \\ -E_{0y} \cos(kx - \omega t - \varphi) \\ -E_{0z} \cos(kx - \omega t + \varphi) \end{cases}$

**Q4.** On interpose un analyseur entre une source émettant une lumière polarisée elliptiquement et un écran. Après un tour complet de l'analyseur, on observe sur l'écran :

- deux minimums d'intensité.
- une tache lumineuse invariante.
- deux extinctions totales de lumière.
- deux maximums d'intensité.

**Q5.** Un paquet d'onde est un groupe d'ondes monochromatiques qui s'étale sur une largeur spectrale  $\Delta\nu$ . Ce paquet d'onde possède une largeur de cohérence  $\ell_c$ .

Les franges d'interférence sont observables si la différence de marche :

- $\delta \ll \ell_c$                         $\delta = \ell_c$                         $\delta > \ell_c$                         $\delta \gg \ell_c$

**Q6.** Une particule quantique de masse  $m$  est piégée dans un puits de potentiel infini de largeur  $L$ . La particule est dans état stationnaire d'énergie, caractérisé par la fonction d'onde  $\Psi_n(x,t) = \psi_n(x)\exp(-iE_n t/\hbar)$ , où  $E_n$  désigne les niveaux d'énergie possibles de la particule,  $n$  étant un nombre entier non nul :

- $E_n = n E_1$       $E_n = n^2 E_1$   
  $E_1 = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mL^2}$       $E_1 = \frac{\hbar^2}{2mL^2}$

**Q7.** L'état d'une particule quantique de masse  $m$ , d'énergie  $E$  et de quantité de mouvement  $\vec{p} = p_x \vec{u}_x = \hbar k \vec{u}_x$  est représenté par la fonction d'onde  $\psi(x,t) = \psi_0 \exp(\frac{i}{\hbar}(p_x x - Et))$ .

- La vitesse de phase  $v_\phi = \frac{E}{p_x}$      La vitesse de phase  $v_\phi = \frac{p_x}{E}$   
 La vitesse de groupe  $v_g = \frac{E}{m}$      La vitesse de groupe  $v_g = \frac{\hbar k}{m}$

**Q8.** Soit un système où les particules indépendantes occupent des états d'énergie  $E_i$  et  $E_j > E_i$  :

- $k_B T \ll E_j - E_i$  : la population de l'état d'énergie  $E_j$  est négligeable par rapport à celle de  $E_i$ .  
  $k_B T \ll E_j - E_i$  : la population de l'état d'énergie  $E_i$  est négligeable par rapport à celle de  $E_j$ .  
  $k_B T \gg E_j - E_i$  : la population de l'état d'énergie  $E_i$  est beaucoup plus grande que celle de  $E_j$ .  
  $k_B T \approx E_j - E_i$  : les populations de deux états  $E_i$  et  $E_j$  sont égales.

**Q9.** Pour un système composé de  $N$  particules indépendantes pouvant occuper deux états d'énergie  $E_1 = -\varepsilon$  et  $E_2 = \varepsilon$ , l'énergie moyenne du système est donnée par :

- $-\frac{\varepsilon}{N} \tanh\left(\frac{\varepsilon}{k_B T}\right)$       $-\varepsilon N \tanh\left(\frac{N\varepsilon}{k_B T}\right)$   
  $-\frac{\varepsilon}{N} \tanh\left(\frac{N\varepsilon}{k_B T}\right)$       $-N\varepsilon \tanh\left(\frac{\varepsilon}{k_B T}\right)$

**Q10.** La capacité thermique molaire d'un solide dans le modèle d'Einstein classique à haute température est :

- $C_{vm} = \frac{5}{2}R$                         $C_{vm} = \frac{7}{2}R$                         $C_{vm} = 3R$                         $C_{vm} = 3nR$

## Deuxième Partie : Chauffage par induction d'une plaque

La trempe de l'acier, qui consiste en un chauffage suivi d'un refroidissement rapide d'une plaque d'acier, assure l'augmentation de la dureté en surface de la plaque.

Un milieu conducteur en acier de conductivité électrique  $\gamma$  s'étend dans le demi-espace  $z \geq 0$ .

A l'extérieur du conducteur, le champ magnétique est uniforme et varia sinusoidalement dans le temps :

$$\vec{B} = B_0 \cos(\omega t) \vec{u}_y \quad (\text{Figure 1}).$$

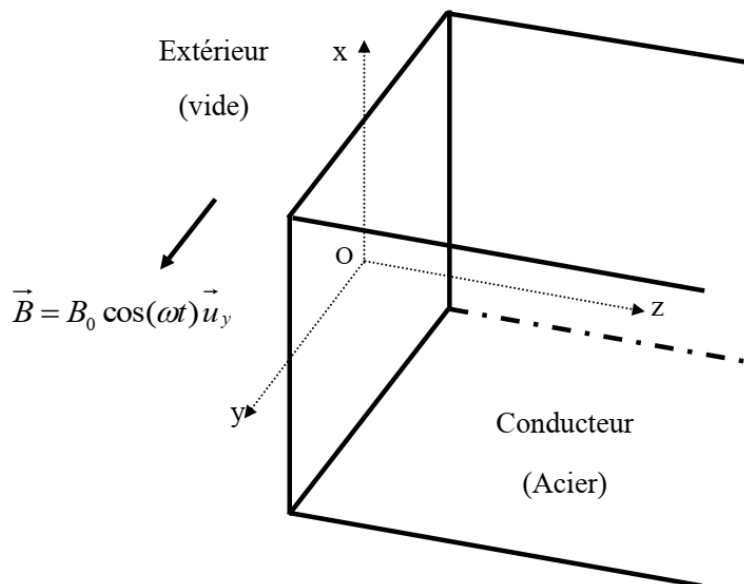


Figure 1

### I. Propriétés des champs dans le conducteur

**Q11.** Écrire les quatre équations de Maxwell dans ce conducteur ohmique. On ne fera intervenir que la densité de courant volumique  $\vec{j}(M, t)$ , le champ magnétique  $\vec{B}(M, t)$ , la densité volumique de charge  $\rho(M, t)$  et les constantes  $c$ ,  $\mu_0$  et  $\gamma$ .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Q12.** On se place en régime sinusoïdal, on associe alors à toute grandeur dépendant du temps un complexe en  $\exp(i\omega t)$ .

Réécrire les équations de Maxwell entre  $\vec{j}(M,t)$ ,  $\vec{B}(M,t)$  et  $\rho(M,t)$  en simplifiant les dérivées partielles par rapport au temps.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Q13.** Justifier que  $\rho(M,t)$  est nulle.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Q14.** En partant des équations écrites précédemment, trouver à quelle condition on peut négliger le courant de déplacement devant le courant de conduction ? Montrer que la condition peut s'écrire sous la forme  $\omega\tau \ll 1$ .

Donner l'expression de  $\tau$  et son unité. Calculer sa valeur numérique. Vérifier que l'approximation proposée est valable si la fréquence du champ utilisée est inférieure au MHz.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Blank area with horizontal dotted lines for writing.

Dans la suite du problème, on prendra  $\rho(M,t) = 0$  dans le milieu conducteur et on suppose que le courant de déplacement est négligeable devant le courant de conduction.

**Q15.** Écrire les équations de Maxwell entre  $\vec{j}(M,t)$  et  $\vec{B}(M,t)$ .

Justifier qu'il n'y a plus que deux équations de Maxwell indépendantes et donner leurs noms.

Blank area with horizontal dotted lines for writing.



Blank writing area with horizontal dashed lines.

**Q18.** Rappeler la relation de passage pour  $\vec{B}$  en  $z = 0$ . Montrer que  $B_0' = B_0$ .

Blank writing area with horizontal dashed lines.



**Détermination de la puissance surfacique reçue**

**Q22.** Donner l'expression de la puissance volumique  $\frac{dP_J}{d\tau}$  cédée par effet Joule au conducteur. Déterminer sa valeur moyenne temporelle.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Q23.** Exprimer alors la puissance moyenne temporelle  $\langle P_J \rangle$  cédée par effet Joule à un cylindre d'axe parallèle à Oz, de longueur infinie et de section S, découpé dans le conducteur.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Q24.** En déduire la puissance thermique moyenne  $\varphi_0$  reçue par unité de surface du conducteur. On écrira le résultat sous la forme  $\varphi_0 = K_s B_0^2 \omega \delta$  et l'on précisera l'expression de  $K_s$ .

---

---

---

---

---

---

---

---

**Q25.** Déterminer la valeur moyenne temporelle du vecteur de Poynting  $\langle \vec{\pi}(z = 0^+, t) \rangle$ .

Comparer son module à  $\varphi_0$ . Commenter.

---

---

---

---

---

---

---

---

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Q26.** Application numérique : calculer  $\varphi_0$  pour la fréquence  $f_2 = 125 \text{ kHz}$  et un champ magnétique extérieur d'amplitude  $B_0 = 0,5 \text{ T}$ .

.....

.....

.....

*Autre méthode de détermination de la puissance surfacique reçue*

**Q27.** Quel est le courant élémentaire  $dI$  qui traverse un rectangle élémentaire (Figure 2) parallèle au plan  $yOz$ , de côtés élémentaires  $dy$  et  $dz$ , orienté selon  $\vec{u}_x$ ? (On exprimera le résultat en fonction de  $\underline{k}$ ,  $\underline{B}(z,t)$  et  $\mu_0$ ).

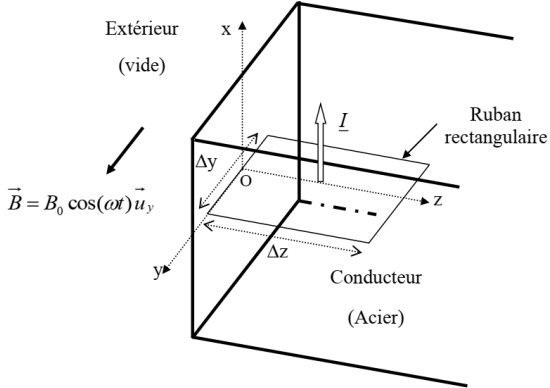


Figure 2

.....

.....





Blank area for writing the answer to Q33.

**Détermination de  $\underline{j}$**

**Q33.** En utilisant l'équation de Maxwell appropriée, déduire l'expression de vecteur densité de courant volumique  $\underline{j}(z,t)$ .

Blank area for writing the answer to Q33.

**Q34.** La plaque conductrice étudiée a pour épaisseur  $2a$ , avec ici  $2a \ll \delta$ , ce qui revient à écrire  $|\underline{k}_0 a| \ll 1$ . Justifier que l'on peut aussi écrire  $|\underline{k}_0(z-a)| \ll 1$  et en déduire l'expression approchée de  $\underline{j}(z,t)$  au premier ordre non nul en  $1/\delta$ .

Blank area for writing the answer to Q34.



## Troisième Partie : traitement thermique de la plaque

### I. Temps caractéristiques des échanges

Pour une plaque chauffée en contact avec l'air extérieur, peuvent se développer trois types d'échanges thermiques :

- La conduction.
- Les échanges conducto-convectifs.
- Le rayonnement.

#### *Loi de Fourier*

En absence des autres types d'échanges thermiques, la conduction obéit à l'équation de la chaleur

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \lambda \Delta T = p_v.$$

**Q38.** Que représentent les grandeurs  $\rho$ ,  $c$ ,  $\lambda$  et  $p_v$  dans l'équation de la chaleur ?

---

---

---

---

---

---

---

---

**Q39.** Déterminer la dimension du coefficient  $D$  de diffusivité thermique ( $D = \frac{\lambda}{\rho c}$ ).

---

---

---

---

---

---

---

---

**Q40.** En déduire une durée caractéristique  $\tau_F$  pour la diffusion sur une longueur égale à  $2a$  en fonction de  $D$  et  $a$  puis en fonction de  $\rho$ ,  $c$ ,  $\lambda$  et  $a$ .

---

---

---

---

---

---

---

---

**Loi de Newton**

L'échange thermique par conducto-convection obéit à la loi de Newton :  $\varphi = h(T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$ .

**Q41.** Que représente  $\varphi$  dans la loi de Newton ? Dans quel sens l'échange modélisé par cette loi s'effectue-t-il ?

.....

.....

On considère une barre cylindrique de surface de base  $S$  et d'épaisseur  $2a$  à la température initiale  $T_0$ , plongée dans un milieu de température  $T_a$  avec lequel elle échange de l'énergie uniquement par transfert conducto-convectif caractérisé par  $h$ .

La surface d'échange est  $S$  (le reste de la barre est supposé isolé). A chaque instant la barre est considérée comme isotherme à la température  $T(t)$ .

**Q42.** Établir l'équation différentielle vérifiée par  $T(t)$ .

.....

.....

.....

**Q43.** En déduire alors un temps caractéristique  $\tau_N$  pour une épaisseur égale à  $2a$  en fonction de  $\rho$ ,  $c$ ,  $h$  et  $a$ .

.....

.....

.....

**Loi de Stefan**

On considère une barre cylindrique de surface de base  $S$  et d'épaisseur  $2a$  à la température initiale  $T_0$ , plongée dans un milieu de température  $T_a$ . Elle échange de l'énergie uniquement par transfert radiatif qui obéit à la loi de Stefan :  $\varphi = \sigma_{St} T^4$ .

La surface d'échange est  $S$ . La barre et l'extérieur rayonnent tous deux selon la loi de Stefan. A chaque instant la barre est considérée comme isotherme à la température  $T(t)$ .

**Q44.** Établir l'équation différentielle pour  $T(t)$ .

.....

.....

.....

**Q45.** On suppose que  $T$  est proche de  $T_a$ . En déduire que le temps caractéristique  $\tau_s$  pour les échanges radiatifs pour une épaisseur égale à  $2a$  s'écrit :  $\tau_s = \frac{\rho c a}{2 \sigma_{st} T_a^3}$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Q46.** Applications numériques : compléter les tableaux suivants :

Données supplémentaires :

$T_a = 700 \text{ }^\circ\text{C}$  ; Pour les transferts conducto-convectifs acier-air :  $h = 10 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .

Expérience n°1	$2a = 3 \text{ mm}$	
$\tau_F = \dots\dots\dots$	$\tau_N = \dots\dots\dots$	$\tau_S = \dots\dots\dots$

Expérience n°2	$2a = 20 \text{ mm}$	
$\tau_F = \dots\dots\dots$	$\tau_N = \dots\dots\dots$	$\tau_S = \dots\dots\dots$

Q47. Quel est le type de transfert qui prédomine dans l'acier ?

Pour la suite, afin de simplifier le modèle étudié, on ne tient plus compte du rayonnement mais on prend pour  $h$  la valeur numérique :  $h = 30 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .

## II. Chauffage de la plaque

Une plaque conductrice en acier d'épaisseur  $2a$  (comprise entre les plans  $z = 0$  et  $z = 2a$ ) est soumise pendant une durée déterminée à un champ magnétique variable de pulsation  $\omega$  (avec  $\omega = 2\pi f$ ). Les courants qui se développent au sein de la plaque engendrent un échauffement par effet Joule qui sera décrite comme suit :

- Si la plaque est de faible épaisseur ( $2a = 3 \text{ mm}$ ), elle s'échauffera sous l'effet d'une puissance volumique calorifique uniformément répartie en son volume  $p_v = K_v B_0^2 \frac{\omega}{\delta^2}$ , avec  $K_v = 0,6$  (dans les unités S.I.);  $B_0 = 2,5 \text{ T}$ ,  $f = 100 \text{ Hz}$  et  $\delta = 20,5 \text{ mm}$ .
- Si la plaque est de grande épaisseur ( $2a = 20 \text{ mm}$ ), la chaleur est produite au niveau de la surface, de part et d'autre de la plaque en  $z = 0$  et  $z = 2a$ . La puissance thermique par unité de surface s'écrivant  $\varphi_0 = K_s B_0^2 \omega \delta$  avec  $K_s = 0,2 \cdot 10^6$  (dans les unités S.I.);  $B_0 = 0,5 \text{ T}$ ,  $f = 125 \text{ kHz}$  et  $\delta = 0,58 \text{ mm}$ .

### Expérience n°1 : chauffage d'une plaque mince

La Figure 3 schématise l'installation permettant le chauffage de la plaque d'acier d'épaisseur  $2a$  et de surface  $S$  (de volume  $2aS$ ), défilant à vitesse constante entre deux inducteurs fixes et parallèles à la plaque.

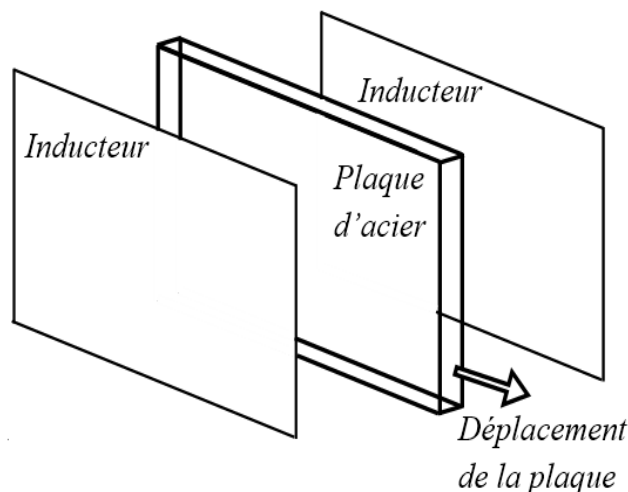


Figure 3

**Q48.** Exprimer la puissance thermique totale  $P_T$  créée au sein de la plaque par les inducteurs en fonction de  $p_V$ ,  $S$  et  $a$ .

A chaque instant la température est uniforme au sein de la plaque. La plaque glisse entre les deux inducteurs qui provoquent son échauffement, elle est entourée d'air à la température uniforme et constante  $T_a = 700 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Q49.** Effectuer un bilan d'énergie pour toute la plaque pendant  $dt$  (en négligeant la surface latérale par rapport aux surfaces de bases).

En déduire l'équation différentielle vérifiée par  $T(t)$  en faisant apparaître une constante de temps.

**Q50.** Résoudre cette équation. La plaque étant initialement à la température  $T_a$ .

**Q51.** Déterminer l'élévation limite de température que peut provoquer ce procédé. Application numérique.

---

---

---

---

---

---

---

---

**Q52.** Combien de temps faut-il pour atteindre une température de  $910\text{ }^{\circ}\text{C}$  ?

---

---

---

---

---

---

---

---

**Expérience n°2 : chauffage d'une plaque épaisse**

Tout effet thermique autre que la diffusion est ici négligé. On étudie uniquement l'échauffement de la paroi située en  $z=0$  (on ne tient pas compte du phénomène identique se produisant au niveau de la paroi  $z=2a$ ).

La plaque est considérée comme un conducteur thermique semi-infini occupant tout le demi-espace  $z \geq 0$  et recevant de l'extérieur un flux surfacique constant  $\varphi_0$  à travers sa paroi ( $z=0$ ). L'extérieur est toujours constitué d'air à la température  $T_a = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$  qui est aussi la température initiale de la plaque.

**Q53.** Quelle est la grandeur qui, au sein du conducteur, indique la valeur de la densité de flux thermique ? Quelle en est l'expression ?

---

---

---

---

---

---

---

---

**Q54.** Écrire l'équation vérifiée par  $\theta(z,t) = T(z,t) - T_a$  dans le conducteur (en faisant apparaître la diffusivité thermique  $D$ ).

.....

.....

.....

**Q55.** Établir la condition aux limites vérifiée pour  $\theta(z,t)$  imposée par le flux en  $z = 0$ .

.....

.....

.....

**Q56.** La résolution de cette équation repose sur les fonctions suivantes :

$$f(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_u^{+\infty} e^{-v^2} dv \quad (\text{avec } \frac{d}{du} f(u) = -\frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} \text{ et } f(0) = 1)$$

$$g(u) = \int_u^{+\infty} f(v) dv = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} - u \cdot f(u) \quad (\text{avec } \frac{d}{du} g(u) = -f(u))$$

Toutes ces fonctions décroissent exponentiellement quand  $u$  tend vers l'infini.

La solution de l'équation de la chaleur, dans les conditions de l'expérience, s'écrit :

$$\theta(z,t) = T(z,t) - T_a = A \sqrt{Dt} \cdot g\left(\frac{z}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

où  $A$  est une constante. Exprimer  $A$  en fonction de  $\varphi_0$  et  $\lambda$  puis donner sa valeur numérique et son unité.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Q57.** Calculer  $g(0)$  et en déduire la température de surface de la plaque en fonction du temps et de  $\varphi_0$ .

.....

.....

.....

.....

**Q58.** Evaluer la durée maximale d'exposition de la plaque au champ magnétique, sachant que la température de l'air est  $T_a = 27\text{ }^\circ\text{C}$  et que la plaque ne doit pas atteindre son point de fusion ( $1536\text{ }^\circ\text{C}$ ).

.....

.....

.....

.....

### **Quatrième Partie : Etude de l'effet Zeeman avec un interféromètre de Michelson**

Dans le modèle de Thomson de l'atome d'hydrogène, le mouvement de l'électron en l'absence de champ extérieur est celui d'un oscillateur harmonique de pulsation  $\omega_0$  sous l'action de la force de rappel.

Si on considère une situation où l'atome est placé dans un champ magnétique uniforme constant  $\vec{B}_0$ , l'électron subit en plus une force magnétique.

Le rayonnement de l'atome change, c'est l'**effet Zeeman**.

### I. Interféromètre de Michelson

L'interféromètre est constitué d'une lame semi réfléchissante (séparatrice  $S_P$ ) et de deux miroirs plans  $M_1$  et  $M_2$  perpendiculaires l'un à l'autre. La lame  $S_P$  est inclinée de  $45^\circ$  par rapport aux normales à  $M_1$  et  $M_2$ .

L'interféromètre est plongé dans l'air.

On ne tiendra compte, ni des inconvénients liés à l'épaisseur non négligeable de la séparatrice (qui sont supposés parfaitement corrigés grâce à une lame compensatrice), ni d'éventuels changements de phase par réflexion. L'indice de l'air sera pris égal à 1.

On utilise comme source étendue une lampe spectrale de symétrie de révolution autour de l'axe  $SO$  parallèle à l'axe  $Ox$ .

On observe en lumière monochromatique dans le plan focal d'une lentille mince convergente  $L$  d'axe optique  $Oy$  et de distance focale  $f' = 1 \text{ m}$ .

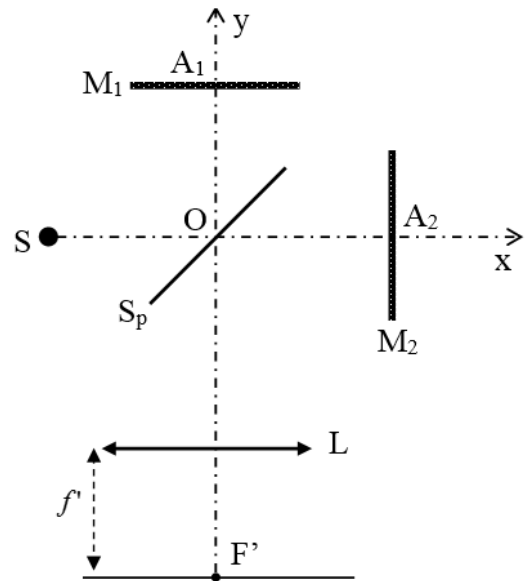


Figure 4

**Q59.** On part de la situation où les deux bras sont égaux ( $OA_1 = OA_2$ ). Qu'observe-t-on ?

**Q60.** On déplace  $M_2$  normalement à son plan d'une distance  $e = 1,050 \text{ mm}$  dans la direction des  $x$  positifs.

Montrer, à l'aide d'un schéma indiquant les trajets des deux rayons qui interfèrent en sortie, que le phénomène d'interférence observé est analogue à celui d'une lame d'air à faces parallèles.

**Q61.** Déterminer la différence de marche, ainsi que le rayon du premier anneau brillant correspondant à une raie incidente de longueur d'onde  $\lambda_0 = 434,1 \text{ nm}$ .

Area reserved for the student's solution to the problem above.

**II. Raie quasi-monochromatique**

La source primaire est maintenant une lampe à hydrogène. A l'aide d'un filtre interférentiel on sélectionne la radiation de longueur d'onde  $\lambda_0$ .

Cette radiation n'est pas rigoureusement monochromatique, on admet que l'intensité lumineuse spectrale émise  $I_\nu(\nu)$  est constante (égale à  $\frac{I_0}{\Delta\nu}$ ) entre  $\nu_1 = \nu_0 - \Delta\nu/2$  et  $\nu_2 = \nu_0 + \Delta\nu/2$ , où  $\nu_0$  est la fréquence centrale de la raie (Figure 5).

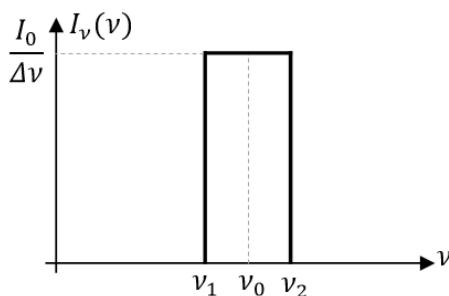


Figure 5



### III. Intensité en présence de l'effet Zeeman

On soumet maintenant la lampe à hydrogène à un champ magnétique intense et on sélectionne à l'aide d'un filtre interférentiel les radiations de fréquence  $\nu_1 = \nu_0 - \Delta\nu$  et  $\nu_2 = \nu_0 + \Delta\nu$  dues à l'effet Zeeman.

Pour simplifier, on admettra que les deux raies ont la même intensité d'émission  $I_0$  et qu'elles sont rigoureusement monochromatiques (Figure 6).

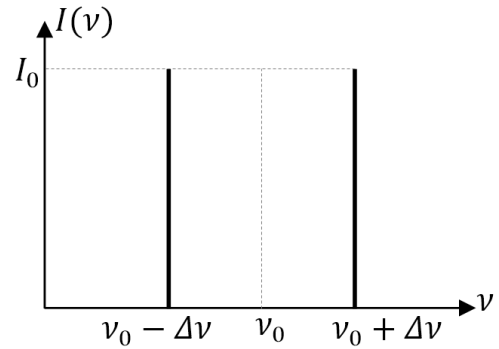


Figure 6

**Q64.** Déterminer l'intensité  $I(e)$  au foyer F' de la lentille en fonction du déplacement  $e = OA_2 - OA_1$ .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Q65.** Tracer l'allure de la courbe  $I(e)$ . En déduire l'expression de  $\Delta\nu$ .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



**Q67.** Le chariot du Michelson se déplace à une vitesse constante  $V$  telle que :

$$e(t) = OA_2 - OA_1 = V \times t$$

La source de courant délivre un courant  $i(t)$  proportionnel à l'intensité lumineuse  $I(t)$  que le détecteur reçoit.

Montrer que pour des temps d'évolution très supérieurs à  $t_R$ , la tension  $u(t)$  reproduit fidèlement les variations de l'intensité.

.....

.....

**Q68.** Le système de traitement du signal (n'est pas étudié ici) montre qu'entre deux annulations du contraste, le nombre de maximums est  $N = 4464$  correspondant à un déplacement  $\Delta e = 0,2721 \text{ mm}$ .

Calculer les valeurs des fréquences  $\nu_0$  et  $\Delta\nu$ .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Q69.** Quel est l'ordre de grandeur de la vitesse de chariotage permettant de détecter les différents maximums ?

.....

.....

.....

.....

*Fin de l'épreuve*

A large rectangular area with a solid black border, containing 25 horizontal dotted lines for writing.

A large rectangular area with a solid black border and horizontal dotted lines, intended for writing answers.