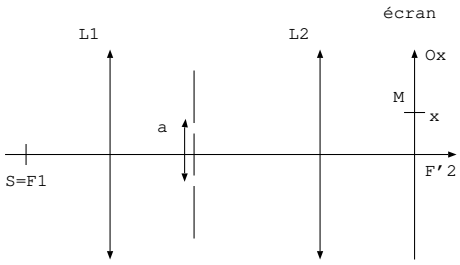
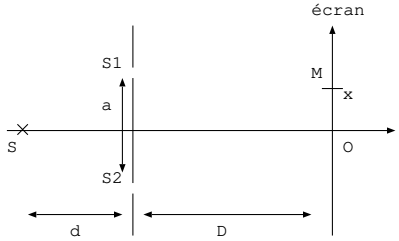
Oraux d'optique

I. Savoir et savoir faire



1. Soit le dispositif de Fraunhofer composé d'une source S placée au foyer d'une lentille L_1, d'un écran au foyer d'une lentille L_2 et d'un plan percé de deux ouvertures entre L_1 et L_2. Les ouvertures sont distantes de a. Tracer les rayons qui interfèrent en M et exprimer la différence de marche $\delta_{2/1}(M)$, en déduire l'interfrange.



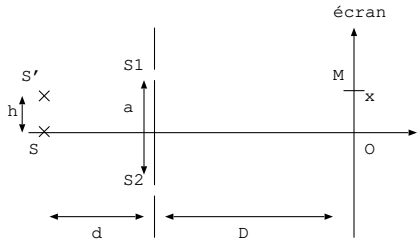
2. Soit le dispositif d'Young composé de deux sources secondaires S_1 et S_2 distantes de a éclairées par une source ponctuelle S placé sur l'axe optique. On observe sur un écran placé à une distance D des sources secondaires. La source a pour longueur d'onde λ.

2.a. Démontrer l'expression de la différence de marche et de l'interfrange.

2.b. La source S_1 ne laisse passer que 60 % de l'intensité incidente. Calculer le contraste des franges à l'écran.

2.c. On introduit derrière S_1 une lame d'épaisseur e et d'indice n. Prévoir le sens de déplacement des franges et calculer le nombre de franges qui ont défilé en O. Données: $e = 14\ \mu m$ et $n = 1,62$, $\lambda = 632\ nm$.

2.d. La source n'est pas monochromatique. Elle comprend toutes les longueurs d'onde entre $\lambda_1 = 380\ nm$ et $\lambda_2 = 720\ nm$. Que voit-on sur l'écran au point O? Décrire quantitativement le spectre au point d'abscisse $x = 1,7\ cm$. Donnée: $a = 200\ \mu m$, $D = 1\ m$.

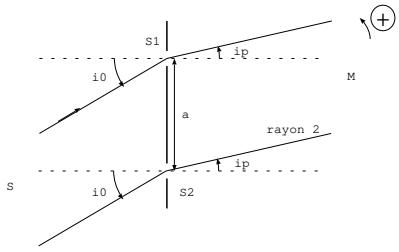


2.e. On ajoute une seconde source ponctuelle S' à une distance h de S. Les deux sources sont monochromatiques de longueur d'onde λ. Données: $d = 50\ cm$, $\lambda = 640\ nm$, $a = 1,2\ mm$. Déterminer les valeurs de h pour lesquelles il y a brouillage.

Réponses: a- $\delta_{2/1}(M) = \dfrac{ax}{D}$ b- $C = 0,97$ c- il y a 13 franges brillantes qui ont défilé en O d- 4 cannelures e- $h_k = (k + \dfrac{1}{2})\dfrac{\lambda d}{a}$.

3. Soit un réseau de pas a, on note i_0 l'angle d'incidence et i_p l'angle de la lumière diffractée dans l'ordre p.

3.a. Démontrer la formule des réseaux.



3.b. On mesure avec un réseau la déviation minimale $D_{m0} = 31^0 42'$ de la raie verte du mercure ($\lambda_0 = 546,1\ nm$) pour le spectre d'ordre 2, puis la déviation minimale $D_{m1} = 18^0 32'$ pour la raie rouge du cadmium au premier ordre (longueur d'onde λ_1). Calculer l'angle d'incidence i_0 correspondant à la déviation minimale de la verte, la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium et le nombre n de traits par millimètre du réseau utilisé.

Réponses: b- $i_0 = -15^0 51'$, $\lambda_1 = 643,8\ nm$ *et* $n = 500\ traits/mm$

II. **Savoir et savoir faire sur l'interféromètre de Michelson**

1. Questions de cours et de TP en source étendue:

Où sont localisées les franges en coin d'air? Comment fait-on pour les observer sur l'écran? Quelle est leur forme?

Où sont localisées les franges en lame d'air? Comment fait-on pour les observer sur l'écran? Quelle est leur forme?

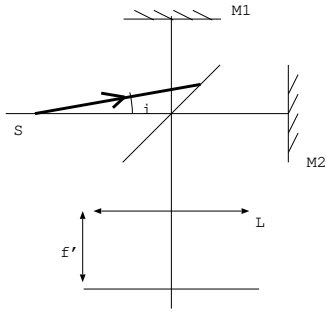
En lame d'air, qu'observe-t-on sur l'écran lorsque l'épaisseur de la lame d'air augmente? diminue?

Comment doit-on éclairer un Michelson pour observer des anneaux? des franges rectilignes?

Qu'appelle-t-on compensatrice? Quel est son rôle?

Quand on cherche à atteindre le contact optique, justifier l'ordre des sources utilisées : laser, lampe à vapeur de mercure et lumière blanche.

2. L'interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air et est éclairé par une source étendue. Sur le schéma représenter la lame d'air d'épaisseur e, les sources secondaires et les rayons qui interfèrent en un point M de l'écran. L'écran est placé dans le plan focal image de la lentille. Justifier cette position de l'écran. Montrer que la différence de marche entre les rayons s'écrit $\delta(M) = 2e\cos i$.



3. On réalise un montage avec l'interféromètre de Michelson et deux lentilles L_1 et L_2 de focales images respectives $f_1' = 10\ cm$ et $f_2' = 60\ cm$. On observe à l'écran des franges circulaires. Préciser la configuration de l'interféromètre. Faire un schéma du dispositif expérimental (en justifiant le choix des lentilles). Calculer le rayon du 3 ième anneau brillant. Données : $\lambda = 632\ nm$, $e = 870\ \mu m$.

Réponse: $r_3 = 2,4\ cm$

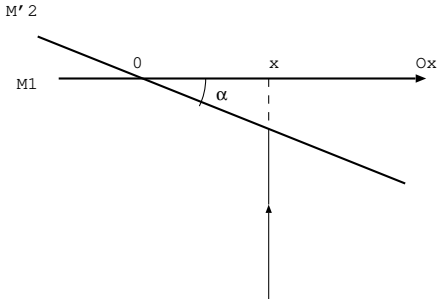
4. L'interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air et est éclairé par une source à vapeur de sodium qui comprend deux longueurs d'onde voisines $\lambda_1 = 589,0\ nm$ et $\lambda_2 = 589,6\ nm$. Lorsqu'on chariote le miroir M_2 on observe que pour certaines valeurs de l'épaisseur de la lame d'air, les franges disparaissent à l'écran. Donner le nom de ce phénomène et expliquer ce phénomène. On donne la position x_0 du miroir lorsque le Michelson est réglé au contact optique. Lire la valeur de x_0 sur la photo et calculer les deux positions x_1 et x_2 les plus proches de x_0 pour lesquelles on observe les franges disparaître.

Réponse: $x_0 = 5,78\ mm$, $x_1 = 6,07\ mm$ *et* $x_2 = 5,49\ mm$

5. L'interféromètre est réglé en lame d'air d'épaisseur $e = 247\ \mu m$. La source est monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 542\ nm$. On observe sur un écran carré de côté $a = 16\ cm$ placé dans le plan focal d'une lentille. Combien peut-on voir d'anneaux brillants sur l'écran? Donnée: $f' = 60\ cm$

Réponse: 8 anneaux brillants

6. Sur le schéma ci-contre, représenter les deux rayons qui interfèrent, exprimer la différence de marche en fonction de x et en déduire l'interfrange.



L'interféromètre de Michelson est réglé en coin d'air. On observe les franges d'interférences sur un écran à l'aide d'une lentille de focale image $f' = 20\ cm$ placée à $27\ cm$ du miroir M_1. On mesure sur l'écran un interfrange $i_e = 1,3\ mm$. Calculer l'angle α du coin d'air. Donnée: $\lambda = 632\ nm$.

On introduit une lame d'épaisseur d et d'indice $n = 1,6$ devant l'un des miroirs. On observe un déplacement de 18 franges. Calculer l'épaisseur de la lame.

On observe les interférences en lumière blanche ($\lambda_{min} = 400\ nm$ et $\lambda_{max} = 800\ nm$). Au point d'abscisse $x = 1,7\ cm$ (sur le miroir, schéma ci-dessus), calculer le nombre de cannelures présentes.

Réponses: $6,9.10^{-5}\ rad$, $d = 11,5\ \mu m$, *3 cannelures*

III. **Extrait de CCINP-TPC 2020**

De manière schématique, un four à micro-ondes est une cavité parallélépipédique rectangulaire constituée de six faces métalliques qui réfléchissent parfaitement les ondes électromagnétiques intérieures. Ces ondes sont produites et amenées dans la cavité par un dispositif qui ne sera pas étudié. Les six faces du four sont supposées parfaitement planes et cinq d'entre elles sont pleines. La dernière est la porte vitrée qui contient une grille métallique dont le rôle est de permettre d'observer l'intérieur du four tout en empêchant la fuite du rayonnement électromagnétique.

Le four est étudié sans aliments et l'air qu'il contient est assimilé au vide.

Données: $c = 3.10^8\ m.s^{-1}$, la fréquence des ondes électromagnétiques est $f = 2\ 450\ MHz$.

1. Calculer la longueur d'onde des ondes électromagnétiques.

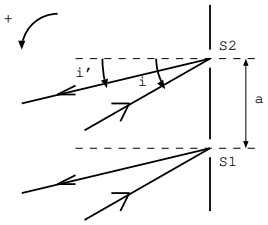
La porte du four est constituée de deux plaques de verre entre lesquelles est insérée une grille métallique percée d'ouvertures régulièrement espacées (visibles sur l'agrandissement dans le document 3).

Document 3 - Photographie du four étudié

Figure 12 - Photographie du four étudié avec un agrandissement de la porte. Le morceau de règle graduée est à la même échelle que l'agrandissement.

Source : www.samsung.fr

La grille contenue dans la porte du four peut être vue comme un réseau bidimensionnel. Ce réseau doit réfléchir les ondes électromagnétiques comme s'il s'agissait d'une paroi métallique pleine. Afin de simplifier son étude, nous le modélisons par un réseau simplement périodique constitué de fentes fines équidistantes séparées de a et parallèles à l'axe Oz.



On suppose que le réseau est éclairé par des ondes planes, de longueur d'onde λ dans le vide, sous l'angle d'incidence orienté i et on s'intéresse aux ondes planes diffractées sous l'angle d'émergence orienté i'.

2. Démontrer la formule des réseaux $\sin i'_p + \sin i = p\dfrac{\lambda}{a}$ où p désigne l'ordre d'interférences.

3. Estimer le pas du réseau à l'aide du document 3 et en déduire l'unique valeur de p possible. Dans cet ordre, donner la relation entre i et i' et commenter.

4. Rappeler les longueurs d'onde de la lumière visible. A l'aide d'une estimation numérique, expliquer pourquoi il est possible depuis l'extérieur de voir l'intérieur du four à micro-ondes à travers la grille.

IV. **Savoir et savoir faire**

1. Lorsque le fluide traverse le condenseur, comment est sa température par rapport à la température du milieu extérieur?

2. Lorsque le fluide traverse un évaporateur, comment est sa température par rapport à la température du milieu extérieur?

3. On donne $h_l(2\ bar) = 160\ kJ.kg^{-1}$ (enthalpie massique du liquide saturant à 2 bar) et $h_v(2\ bar) = 320\ kJ.kg^{-1}$ (enthalpie massique de la vapeur saturante à 2 bar). Calculer l'enthalpie massique de vaporisation à 2 bar et calculer la fraction massique de liquide pour un système d'enthalpie $h = 230\ kJ.kg^{-1}$ à 2 bar.

4. On donne $s_l(1\ bar) = 0,32\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ et $s_v(1\ bar) = 1,24\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$. Calculer le titre massique en vapeur pour un système d'entropie massique $s = 1,16\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.

5. On donne $h_l(3\ bar) = 170\ kJ.kg^{-1}$ (enthalpie massique du liquide saturant à 3 bar) et $h_v(3\ bar) = 340\ kJ.kg^{-1}$ (enthalpie massique de la vapeur saturante à 3 bar). Calculer l'enthalpie massique d'un mélange liquide vapeur de fraction massique en vapeur $x_v = 0,73$.

6. On donne $s_l(1\ bar) = 0,32\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ et $s_v(1\ bar) = 1,24\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$. Calculer l'entropie massique d'un fluide de titre massique en liquide $x_l = 0,3$ à 1 bar.

7. Décrire la détente de Joule Thomson et démontrer qu'elle est isenthalpique.

8. Un moteur fournit une puissance utile $P_u = 1\ kW$. Le fluide qui décrit le cycle a pour débit massique $D_m = 25\ g.s^{-1}$, en déduire le travail utile massique.

9. Une PAC délivre une puissance chauffante $P_c = 2\ kW$ et prélève une puissance $P_f = 1500\ W$ à la source froide (ici les puissances sont données en valeur absolue). En déduire la puissance utile et l'efficacité de cette PAC.

10. Ecrire les premier et second principes industriels en expliquant ce que représente chaque terme.

11. Faire le schéma de principe d'un moteur et démontrer le rendement de Carnot d'un moteur.

12. Faire le schéma de principe d'une PAC et démontrer le théorème de Carnot pour une PAC. La PAC est utilisée pour chauffer une maison, préciser les systèmes qui constituent les sources froide et chaude.

13. Faire le schéma de principe d'un réfrigérateur en précisant les systèmes qui constituent les sources froide et chaude. Définir l'efficacité de cette machine.

14. Un compresseur aspire l'air ambiant de température $T_1 = 288\ K$ à la pression $P_1 = 1\ bar$. Données: taux de compression : $\dfrac{P_2}{P_1} = 6,15$, l'air est assimilé à un gaz parfait de capacité thermique massique $c_p = 1,00\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ et $\gamma = 1,4$, débit massique: $D_m = 200\ g.s^{-1}$.

Comment peut on justifier l'hypothèse d'une transformation adiabatique?

Calculer la température T_2 à la sortie du compresseur.

Calculer la puissance utile dans le compresseur.

15. Tracer le diagramme d'état de l'eau en plaçant des valeurs numériques connues sur l'isobare 1 bar.

Réponses: 3- $x_l = 0,38$ 4- $x_v = 0,91$ 5- $h = 311\ kJ/kg$ 6- $s = 0,60\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ 7- $h_1 = h_2$ et $s_2 > s_1$ 8- $w_u = 4\ kJ.kg^{-1}$ 9- $e = 4$ 14- $T_2 = 484\ K$ et $P_u = 39,2\ kW$

Dans les énoncés des exos, h_l et s_l désignent les enthalpies et entropies massiques du liquide saturant (sur la courbe d'ébullition) et h_v et s_v désignent les enthalpies et entropies massiques de la vapeur saturante (sur la courbe de rosée).

V. **Exercice : Efficacité d'un réfrigérateur**

On étudie le cycle décrit par le fluide R134a dans une machine frigorifique. Ce cycle est composé des transformations suivantes :

Dans l'état 1, le fluide est sur la courbe de rosée à la pression de 3 bar. Il subit une compression adiabatique réversible jusqu'à l'état 2 (vapeur sèche) de pression 20 bar et d'enthalpie massique $h_2 = 440\ kJ.kg^{-1}$.

La transformation $2-3$ est isobare, le fluide traverse un condenseur et se trouve à l'état 3 sur la courbe d'ébullition.

La transformation $3-4$ se fait dans le détendeur supposé adiabatique. La transformation $4-1$ est isobare, le fluide traverse l'évaporateur. On néglige les variations d'énergie potentielle et d'énergie cinétique.

$P\ (bar)$	$T\ (^0C)$	$h_l\ (kJ.kg^{-1})$	$h_v\ (kJ.kg^{-1})$	$s_l\ (kJ.kg^{-1}.K^{-1})$	$s_v\ (kJ.kg^{-1}.K^{-1})$
20	65	270	430	$1,217$	$1,69$
3	0	200	390	$1,034$	$1,73$

1. Dans le diagramme enthalpique avec la pression en ordonnée et l'enthalpie massique en abscisse, tracer l'allure de la courbe de saturation en utilisant les données du tableau. Ajouter sur le diagramme le cycle étudié.

2. On assimile le fluide à l'état vapeur sèche à un gaz parfait de coefficient $\gamma = 1,5$. Déduire des hypothèses de la transformation $1-2$, la température T_2.

3. Déterminer la fraction massique en vapeur x_4 dans l'état 4 à la sortie du détendeur. En déduire l'entropie massique s_4. Justifier le fait que $s_4 > s_3$.

4. Dans le diagramme entropique avec la température en ordonnée et l'entropie massique en abscisse, tracer l'allure de la courbe de saturation en utilisant les données du tableau. Ajouter sur le diagramme le cycle étudié.

5. Définir et calculer l'efficacité de ce réfrigérateur.

6. Calculer le débit massique pour un compresseur de puissance mécanique $P_u = 100\ W$.

7. Lorsque le fluide est en contact avec la source chaude, que dire de sa température par rapport à celle de la source chaude? De même lorsque le fluide est en contact avec la source froide.

Réponses: 2- $T_2 = 514\ K$ *3-* $x_4 = 0,37$ *5-* $w_u = 50\ kJ.kg^{-1}$, $q_f = 120\ kJ.kg^{-1}$ *et* $e = 2,4$ *6-* $D_m = 2\ g.s^{-1}$

VI. **Exercice : réacteur nucléaire**

On considère le modèle simplifié du circuit secondaire d'un réacteur à eau pressurisée d'une centrale nucléaire: l'eau subit une transformation isobare à la pression 70 bar dans le générateur de vapeur de l'état 1 à l'état 2. L'état 2 se trouve sur la courbe de rosée. La transformation $2-3$ est une détente adiabatique réversible dans le turbine qui fait tourner l'alternateur. De 3 à 4 l'eau subit une liquéfaction isobare à la pression $0,05\ bar$ dans le condenseur. L'état 4 est sur la courbe d'ébullition. La transformation $4-1$ est une compression isentropique quasi isenthalpique dans une pompe. On néglige les variations d'énergie potentielle et d'énergie cinétique.

P_{sat} en bar	$T\ (^0C)$	$h_l\ (kJ.kg^{-1})$	$h_v\ (kJ.kg^{-1})$	$s_l\ (kJ.K^{-1}.kg^{-1})$	$s_v\ (kJ.K^{-1}.kg^{-1})$
$0,05$	33	$137,8$	$2561,6$	$0,4763$	$8,3960$
70	286	$1267,4$	$2773,5$	$3,1219$	$5,8162$

1. Déduire du tableau la valeur numérique de s_2. En déduire la valeur de s_3 puis le titre massique en vapeur x_3 (appliquer le th. des moments avec les entropies) et enfin l'enthalpie massique h_3 dans l'état 3.

2. Représenter le cycle dans le diagramme enthalpique (P en fonction de h) et dans le diagramme entropique (T en fonction de s) en utilisant soigneusement les données du tableau pour tracer l'allure de la courbe de saturation (rosée et ébullition) avant de placer les états 1, 2, 3 et 4.

3. Définir et calculer le rendement de cette machine.

4. Calculer le débit massique de l'eau dans le circuit secondaire pour une puissance de la turbine $P_T = 1000\ MW$.

5. Démontrer le théorème de Carnot pour cette machine et calculer le rendement de Carnot pour un cycle dont les températures des sources froide et chaude seraient 33^0C et 286^0C.

Réponses: 1- $x_3 = 0,67$ $h_3 = 1761,5\ kJ.kg^{-1}$ *3-* $r = 0,38$ *4-* $D_m = 1000\ kg.s^{-1}$