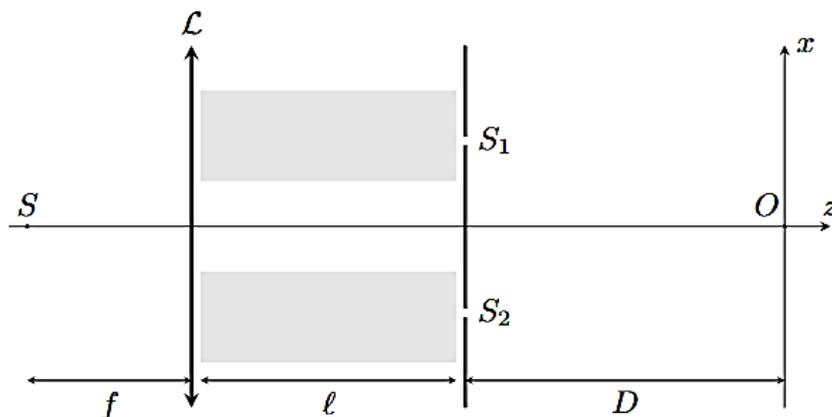


Préparation aux oraux MP/MPI

TD5 – Optique

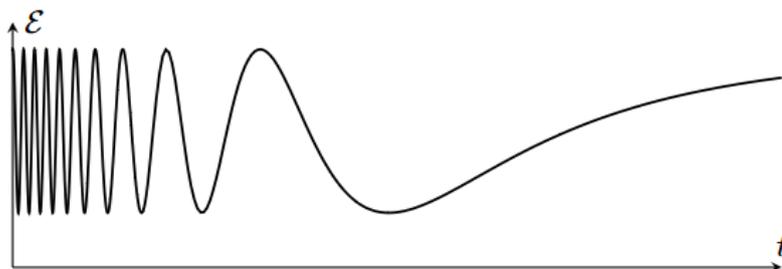
1 Exercice « académique » CMT Mopty 2024 : Indice optique d'un gaz

On considère le montage suivant, constitué de deux trous d'Young S_1 et S_2 distants de a devant lesquels on a placé deux cuves identiques transparentes pouvant contenir un gaz.



Les cuves sont éclairées par une onde plane obtenue en plaçant une source ponctuelle S monochromatique au foyer objet d'une lentille convergente \mathcal{L} ; l'observation se fait sur un écran placé dans le plan $z = 0$ à une distance D des trous. On note ℓ la longueur des cuves dans la direction de propagation de l'onde incidente

- 1) Déterminer l'expression de l'éclairement en un point M de l'écran s'il n'y a pas de cuve.
- 2) En notant n_1 et n_2 les indices de réfractifs des gaz contenus dans les cuves 1 et 2, déterminer la différence de chemin optique $\delta = (SS_2M) - (SS_1M)$ en un point $M(x, y, 0)$ de l'écran.
- 3) Préciser l'interfrange et la position de la frange d'ordre 0. Est-il possible de repérer la position de cette frange en lumière monochromatique ?
- 4) Initialement, un vide très poussé est réalisé dans la cuve 1, tandis que la cuve 2 contient de l'air dans les conditions de température et de pression du laboratoire. On a donc $n_1 = 1$ et $n_2 = n_{\text{air}}$. On fait rentrer lentement de l'air dans la cuve 1. Qu'observe-t-on ?
- 5) On utilise une lampe à vapeur de sodium de longueur d'onde dans le vide $\lambda = 590 \text{ nm}$. On place une photodiode sur l'écran en $x = 0$. Entre l'état initial et l'état final ($n_1 = n_{\text{air}}$), on observe la variation suivante de l'intensité lumineuse en fonction du temps.

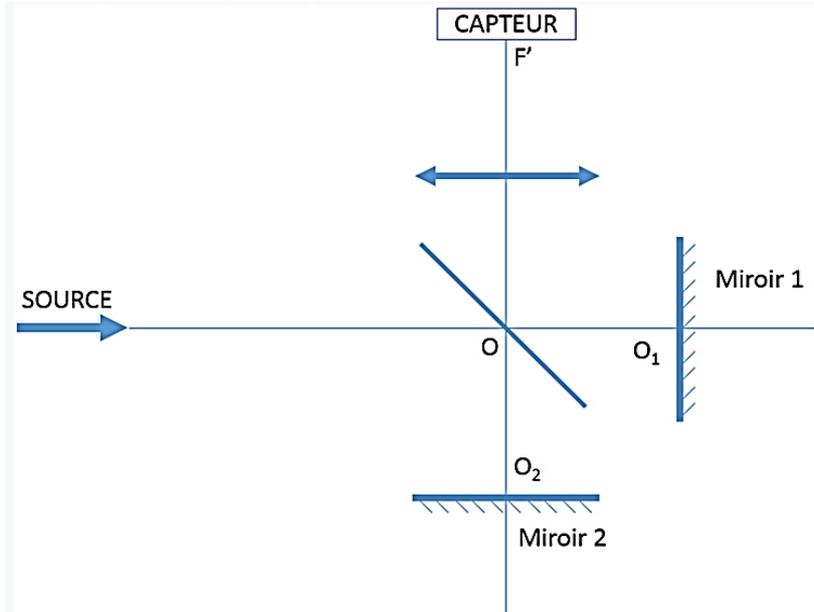


Sachant que $\ell = 2 \text{ cm}$, déterminer $n_{\text{air}} - 1$.

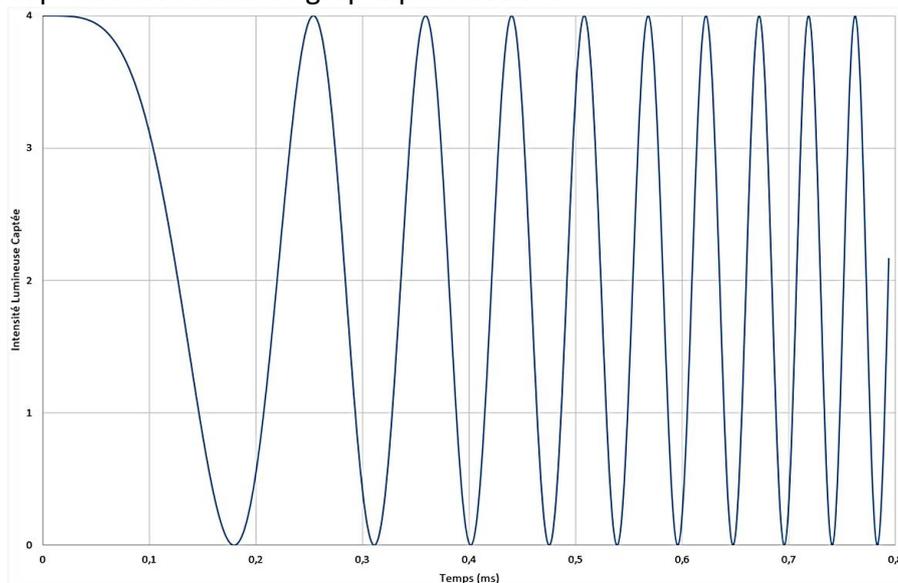
Rq: Chloé n'a traité que la question 1 mais l'examinateur lui a posé d'autres questions : Pourquoi y a-t-il interférences ? Peut-on avoir des interférences partout sur l'écran ? Pourquoi y a-t-il un déphasage entre l'onde passant par S_1 et celle passant par S_2 ?

2 Résolution de problème CCINP Mas 2024 : Miroir en chute libre

On dispose du montage suivant éclairé par une source de longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$.



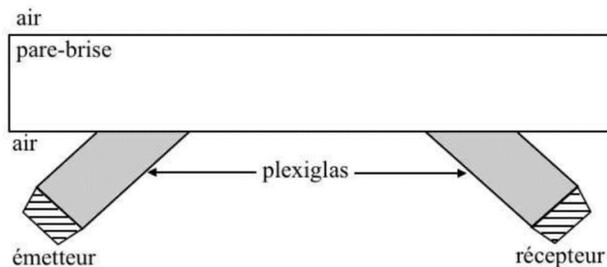
On note $OO_1 = \ell_1$ et $OO_2(t = 0) = \ell_2$. La lentille de projection a une distance focale image $f' = 1 \text{ m}$. Le miroir 2 est en chute libre, il a une vitesse nulle à l'instant $t = 0$ et on enregistre l'intensité lumineuse au point F' grâce à un capteur. On obtient le graphique suivant :



➡ Déterminer le champ de pesanteur g .

3 Résolution de problème CMT : Détecteur de pluie

Les détecteurs de pluie installés sur les pare-brises des automobiles commandent le fonctionnement des essuie-glaces. Sur le schéma de principe donné sur la figure, l'émetteur (usuellement une LED), situé à l'intérieur de la voiture, produit un faisceau incident parallèle qui arrive sur la vitre (pare-brise) avec un angle θ_1 .



1. On prend $\theta_1 = 50^\circ$. Expliquer le fonctionnement de ce détecteur.
2. Déterminer la plage de valeurs que peut prendre θ_1 pour que le détecteur fonctionne.

Données : indices optiques

$$n_{\text{eau}} = 1,33 ; n_{\text{plexiglass}} = 1,51 \text{ et } n_{\text{verre}} = 1,6.$$

4 Exercice « académique » CMT : Défauts visuels

Un patient souffre d'un problème de vision. Il ne voit pas les objets nets au-delà de 26 cm, ni en-dessous de 13,5 cm.

- 1) a) Établir le diagnostic quant à la vision du patient : de quel défaut souffre-t-il ?
b) Proposer une correction adaptée, tout d'abord avec une paire de lunettes qu'il portera à 2 cm de ses yeux, ensuite avec des lentilles de contact.
- 2) Avec l'âge, le patient ne pourra certainement plus lire son journal de près. Comment régler ce défaut ? Ce second problème compensera-t-il le problème initial ?

5 Résolution de problème CMT : Ailes de papillons

Certains papillons ont des couleurs iridescentes, c'est-à-dire qui changent avec l'angle sous lequel on les éclaire.

Ceci est souvent dû à des interférences se produisant sur une couche mince à la surface de leurs ailes.

Ces interférences font que la réflexion de la lumière n'est importante que pour certaines longueurs d'onde particulières dans le spectre de la lumière visible.

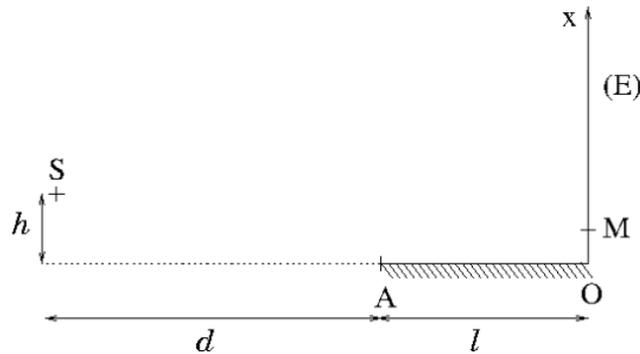
Ainsi les ailes du *Papilio Ulysses* passent du bleu-violet quand il est éclairé en incidence rasante à une couleur verte quand il est éclairé en incidence normale.

➡ Proposer un modèle permettant d'expliquer le changement de couleur observé pour le *Papilio Ulysses*.



6 Exercice « académique » CCINP : Miroir de Lloyd

On considère un miroir plan carré de côté l placé dans le plan (yOz) . S est une source ponctuelle et monochromatique de longueur d'onde λ_0 , placée très près du miroir. Un écran est placé dans le plan (xOy) . On indique que la réflexion sur le miroir entraîne un déphasage de π de l'onde réfléchie.



- 1) Montrer que ce système interférentiel est assimilable au système des trous d'Young.
- 2) Décrire précisément la figure d'interférences.
- 3) Exprimer $I(M)$ en un point M de l'écran, démontrer la formule de la différence de marche et déterminer l'interfrange.
- 4) Exprimer l'intensité de la frange centrale.
- 5) On considère que la source émet des ondes monochromatiques de longueur d'onde λ_1 et λ_2 telles que ces deux longueurs d'onde soient proches de λ_0 . On pose $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$. Déterminer $I(M)$ et commenter.

7 [MP] Exercice « académique » CCINP : Réseau

On considère un réseau constitué de N fentes, espacées les unes des autres d'une distance a . On envoie sur ce réseau un faisceau lumineux constitué de rayons tous parallèles entre eux, monochromatiques de même longueur d'onde λ . Chaque rayon forme un angle d'incidence i_0 avec le réseau et ressort avec un angle i_p .

1. Établir la relation liant i_0 , i_p , a , λ et p l'ordre du spectre.
2. On considère maintenant que le faisceau est constitué de deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 . On considère que l'on éclaire le réseau en incidence normale. On place une lentille de distance focale f' après le réseau, ainsi qu'un écran après cette lentille. En quels points de l'écran observe-t-on les raies dues à λ_1 et λ_2 ? Quelle distance sépare ces raies ?

8 CCS2 : Appareil photo

L'objectif d'un appareil photo jetable n'est constitué que d'une seule lentille mince de diamètre D , la pellicule se situant à une distance d fixe derrière l'objectif. Cette distance n'est pas modifiable, de même que la distance focale f' de l'objectif : autrement dit, aucune mise au point n'est nécessaire.



Figure 1 Un exemple d'appareil photo jetable

1. Quel type de lentille doit-être utilisé ? Estimer les valeurs typiques de d et D pour l'appareil photographique présenté figure 1
2. On tire le portrait d'une personne située à une distance $L = 3,0$ m de l'objectif de l'appareil.

Quel doit être la valeur de la distance focale de l'objectif pour que cette personne soit vue nette sur la photo ? Faire un schéma. Peut-on voir la personne en entier sur la photo, en utilisant une pellicule 24×36 mm ?

On suppose désormais que l'appareil est conçu de sorte que $d = f'$.

3. Déterminer le rayon r de la tâche lumineuse formée dans le plan de la pellicule par le faisceau de rayons lumineux issus d'un objet ponctuel A situé sur l'axe optique à une distance l de l'objectif. Commenter le résultat.
4. Dans une revue photographique, on peut lire : « une pellicule 24×36 mm contient environ 2 millions de grains d'argent ».

Quelle est la position de l'objet le plus proche vu net sur la pellicule ? Est-ce satisfaisant pour les applications usuelles ?

5. Comment pourrait-on envisager d'améliorer le dispositif en augmentant légèrement la distance d ? Applications numériques et commentaires.
6. On considère de nouveau le réglage $d = f'$ et on réalise le portrait d'une personne située à 5 m de l'appareil photo. Le portrait est développé et le tirage est réalisé sur un format 10×15 cm.

Évaluer le pouvoir séparateur θ_{\min} de l'œil humain. Peut-on se rendre compte que le portrait est légèrement flou en l'observant à une distance de 30 cm ? Conclusion ?

Rapports

CCINP 2023 / 2024

Il est impératif en optique de réaliser des **schémas**. Et que ceux-ci soient de **qualité**.

Pour les **trous d'Young**, le calcul des différences de marche dans les deux cas (**source à distance finis et source à l'infini**) sont très différents (Pythagore ou surfaces d'ondes). Il convient de **ne pas les confondre**.

Pour les **trous d'Young avec lentilles**, les **théorèmes** utiles ne sont pas toujours bien expliqués, le **retour inverse** et le **théorème de Malus** sont rarement cités.

Certains candidats procèdent avec brio au calcul de la différence de marche puis de l'éclairement d'un système d'interférences, sans avoir la moindre idée du **phénomène observable sur l'écran** !

Le **critère de brouillage avec la différence d'ordre d'interférences** est la méthode explicitement écrite dans le programme pour étudier le **brouillage dû à 2 sources ou une source étendue**. Il est indispensable de **connaître cette méthode**.

Les **équivalents du Michelson sont sous-utilisés**, ce qui fait perdre beaucoup de temps au candidat.

Rappelons que la **lame séparatrice ne doit pas apparaître dans le schéma équivalent** lame d'air/coin d'air.

La **localisation des franges** pose problème : des candidats observent les interférences du coin d'air sur le plan focal de la lentille de sortie.

La **détermination des rayons** brillants ou sombres de la lame d'air est souvent fautive, l'**ordre** au centre est souvent pris nul et croissant quand on s'éloigne.

Il ne suffit pas pour les **réseaux** (pgm MP) d'exprimer la différence de marche entre deux rayons successifs, encore faut-il exprimer la **condition d'interférences constructives**. Et ne pas oublier que la source et l'écran sont placés à l'infini.

Sur l'**optique géométrique** de première année, beaucoup d'erreurs de **signes** dans les **grandeurs algébriques**.

La construction de la **marche des rayons lumineux** à travers **une ou plusieurs lentilles**, en particulier **divergentes**, pose problème. Déterminer **l'image d'un point à l'infini hors de l'axe** pose problème.

CCS 2022 / 2024

Traiter un exercice d'optique, c'est presque toujours commencer par faire un **schéma**. **Plus il est élégant et général et plus il sera utile aux candidats**. Les **paramètres angulaires** sont souvent **essentiels** ; rappelons qu'ils s'expriment couramment en **degrés, minutes et secondes d'angle** et qu'il convient de savoir les **convertir en radians**.

Un **tracé de rayons** offre souvent une méthode simple et performante pour répondre à la plupart des questions posées dans un sujet **d'optique géométrique** ; encore doit-il être effectué avec un **double soin de principe** (quelle est la règle appliquée ?) **et de réalisation** (une droite ne doit pas être courbée de force pour s'adapter à une idée préconçue qui s'avère parfois fautive).

Les **angles** pour l'expression des **lois de Descartes** sont trop souvent pris par rapport au dioptré alors qu'ils devraient l'être **par rapport à la normale** à celui-ci. Le même genre de confusion s'observe aussi pour la **formule des réseaux** par exemple.

Les calculs de différences de marche s'appuient normalement sur l'application du **théorème de Malus**, qu'il faut **appliquer avec soin et discernement** (il n'y a de plan de phase que dans le cas d'une onde plane...). Dans de nombreux cas, le théorème de Malus n'est utile que si on l'applique aux **ondes fictives imaginées dans le cadre de la loi du retour inverse de la lumière**.

La **notion de localisation des franges** (dans l'interféromètre de Michelson) reste encore souvent mal comprise.

L'étude et les conditions d'emploi des réseaux de diffraction (pgm MP) restent bien mystérieux pour certains candidats (c'est aussi le cas de la notion même de **diffraction**).

Quelques incontournables : **différences de marche** dans les cas des **fentes de Young** et des **anneaux d'égalé inclinaison**.

CCMP 2023/2024

L'**optique géométrique** est souvent mal maîtrisée y compris pour les **notions de base** (en particulier pour **obtenir l'image d'un objet à l'infini hors axe optique**). Le jury note cependant que le recours aux relations de conjugaison n'est plus aussi systématique, les **tracés** sont souvent utilisés.

Un certain nombre de difficultés sont liées à l'absence de **vocabulaire** : les notions **réel/virtuel**, **stigmatisme rigoureux/approché** ne sont pas toujours maîtrisées, ce qui conduit parfois à des explications très laborieuses.

En optique physique, en dehors des problèmes associés à l'optique géométrique (tracés de rayons, en particulier pour l'observation à l'infini), l'obtention détaillée d'une **différence de marche** peut être très délicate (**théorème de Malus et de la loi de retour inverse de la lumière**, dont le rôle simplificateur en présence de lentilles est souvent mal connu).

Dans le cas **d'interférences à distance finie**, l'utilisation du projeté d'une source sur le second rayon est malheureusement encore rencontrée, cette mise en équation maladroite ne permet jamais au candidat d'aboutir rigoureusement au résultat alors qu'un **développement limité** permet de conclure assez rapidement.

La notion **d'observation d'interférences à l'infini** est mal connue (elle est limitée aux réseaux, et son extension aux systèmes interférentiels à 2 ondes pose parfois problème, par exemple des trous d'Young dans le plan focal objet d'une lentille de projection sans condition sur la position de l'écran).

Les **conditions d'éclairage et d'observation** pour les montages **coin d'air** ou **lame d'air** avec interféromètre de **Michelson** sont mal connues (pour un coin d'air, l'écran est très souvent placé dans le plan focal image de la lentille).

Certains candidats ne connaissent que le **montage replié du coin d'air** et ont beaucoup de mal à **faire le lien avec le Michelson** tel qu'il est **réellement**.

Le défilement de franges donne lieu à des calculs compliqués alors que **l'utilisation de l'ordre d'interférence** permet souvent une analyse rapide et efficace.

Pour expliquer **l'évolution des anneaux** quand l'interféromètre de Michelson se **rapproche du contact optique en lame d'air**, de nombreux candidats manquent de **méthode** et se contentent d'une affirmation.

Certains candidats ne savent pas **montrer la formule de Fresnel**. La notion de **perte de contraste par élargissement angulaire ou spectral de la source** est mal maîtrisée.

X 2024

Il est important de souligner qu'un **tracé de rayons précis et soigné** est un **prérequis essentiel** en optique. Beaucoup de candidats rencontrent des **difficultés dans les calculs de chemin optique en raison d'un tracé de rayon trop approximatif et peu soigné**.

Dans les calculs concernant un dispositif interférométrique, la maîtrise de la **notion de stigmatisme** fait souvent défaut pour calculer des différences de chemin optique. Si la formule du **déphasage dans le cas des trous d'Young** est connue, il faut aussi savoir la **redémontrer** en posant correctement les **approximations utilisées**.

Malgré le fait que les notions de **superposition d'ondes et d'interférences** soient en moyenne bien acquises, leur **utilisation pratique** n'est pas toujours évidente. L'utilisation de la **formule de Fresnel**, et le **calcul du contraste** ont été laborieux pour nombre de candidats. Aussi, le **fonctionnement des dispositifs interférentiels** (trous d'Young, interféromètre de Michelson) sont en théorie bien compris, mais le **calcul et l'analyse des franges d'interférences** ne sont pas encore correctement maîtrisés par beaucoup de candidats.