

OPTIQUE 2 - Dispositifs interférentiels

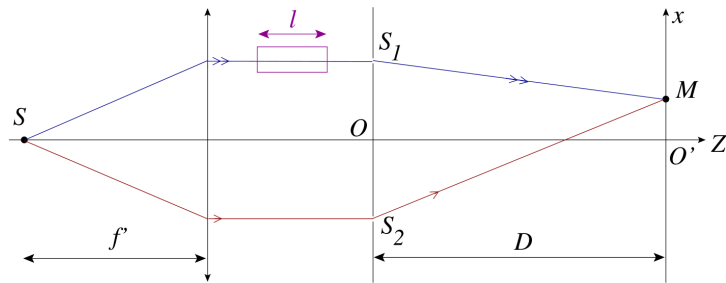
Travaux dirigés

Interférences par division du front d'onde

Exercice 1: Mesure de l'indice d'un gaz *

Grand classique des concours...

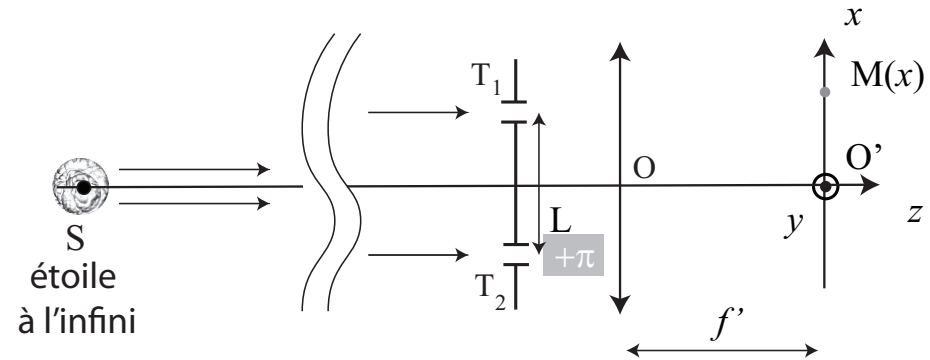
Soit le dispositif représenté de trous de Young éclairés en incidence normale. Une cuve de longueur ℓ (dont on négligera l'épaisseur des faces) est disposée sur le trajet lumineux menant au trou S_1 .



- Déterminer la différence de chemin optique $\delta(x)$ au point x en fonction de n , ℓ , a , x et D .
- Déterminer la position x_0 de la frange d'ordre 0. Est-ce cohérent avec ce que l'on attend qualitativement ?
- On réalise l'expérience suivante : la cuve étant initialement remplie d'air, on remplace peu à peu cet air par un gaz d'indice n à mesurer, jusqu'à ce que la cuve soit entièrement remplie de ce gaz. Pendant toute l'opération, on suit une frange brillante quelconque dont les positions au début et à la fin sont notées x_1 et x'_1 . Montrer que la mesure de x_1 et x'_1 permettent d'obtenir la valeur de n .

Exercice 2: Interférométrie stellaire *

On modélise un couple de télescopes T_1 et T_2 par deux trous d'Young T_1 et T_2 de même rayon, séparés d'une distance L , éclairant un écran situé dans le plan focal image d'une lentille convergente de distance focale f' dont l'axe optique est perpendiculaire au plan des deux ouvertures situées en avant de la lentille et passe par le milieu du segment $[T_1T_2]$. On pointe le dispositif d'observation vers l'étoile β Pictoris (S). Cet objet céleste est considéré à l'infini sur l'axe optique de la lentille équivalente au télescope.

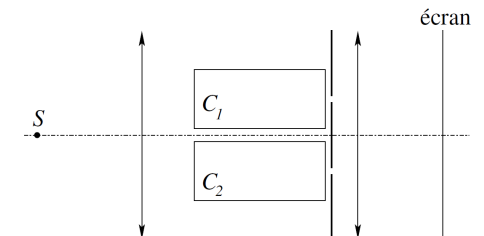


On s'intéresse dans un premier temps au rayonnement issu de l'étoile centrale. On place en entrée du système un filtre qui sélectionne uniquement le rayonnement associé à la longueur d'onde λ_0 . Ainsi, on considère un rayonnement monochromatique à cette longueur d'onde.

- Effectuer le tracé de deux rayons lumineux qui interfèrent en M .
- Exprimer, au niveau du point M , la différence de chemin optique entre les rayons passant par T_1 et T_2 .
- Lors de la traversée de l'ouverture T_2 , la vibration lumineuse est déphasée de π à l'aide d'un dispositif qui n'introduit aucune différence de chemin optique supplémentaire entre les deux voies de l'interféromètre. En déduire la différence de chemin optique totale entre les deux rayons interférant en M .
- On note I_0 l'intensité lumineuse d'un seul des télescopes et on suppose de plus que cette intensité est la même pour les deux télescopes. En déduire l'éclairement $I(x)$ et tracer son allure.
- Que constate-t-on si on place un détecteur quasi ponctuel en $x = 0$? Ce résultat dépend-il de L ? A quoi sert le dispositif déphasant de π ?
- Exprimer l'écart entre deux franges consécutives en fonction de L , f' et λ .

Exercice 3: Mesure de l'indice d'un gaz - le retour **

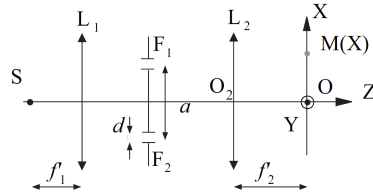
On considère le montage des fentes de Young représenté sur la figure. La source S de longueur d'onde $\lambda = 589 \text{ nm}$, est au foyer objet de la première lentille. Le plan d'observation est au foyer de la deuxième lentille. C_1 et C_2 sont deux cuves transparentes, de même longueur intérieure $\ell = 10 \text{ cm}$, et approximativement identiques (même épaisseur des faces). Initialement, elles sont remplies d'air dans les mêmes conditions.



1. On vide la cuve C_2 . Dans quel sens se déplacent les franges sur l'écran ?
2. On remplit C_2 avec de l'ammoniac NH_3 gazeux. Le déplacement total des franges (opération 1 + opération 2) est de 17 franges vers le bas. Déterminer la différence d'indice entre l'air et l'ammoniac.

Exercice 4: Entre deux brouillages... **

Une source ponctuelle émet de la lumière dont le spectre est constitué de deux longueurs d'ondes λ_1 et λ_2 . Elle est placée au foyer d'une lentille L_1 et éclaire un écran opaque percé de 2 fentes équidistantes de $a = 400 \mu\text{m}$ selon Ox et de largeur d .



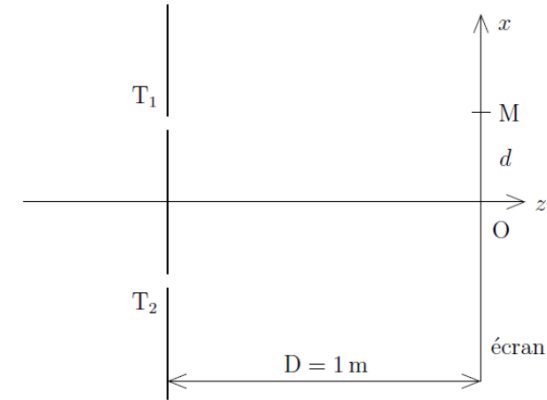
On supposera que l'intensité lumineuse de chaque longueur d'onde est identique et vaut I_0 . L'écran est au foyer image d'une lentille convergente L_2 de distance focale $f'_2 = 1,0 \text{ m}$.

1. Définir l'ordre d'interférence pour chaque longueur d'onde. On supposera que $X \ll f'_2$.
2. Représenter $I_1(X)$ et $I_2(X)$, les intensités lumineuses de chaque longueur d'onde. On supposera que $\lambda_2 > \lambda_1$ et que les amplitudes de chaque onde sont identiques. On fera apparaître l'interfrange sur chaque figure.
3. Déterminer, en fonction de λ_1 , l'écart maximal $\delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ possible pour qu'environ 10 franges soient visibles entre deux brouillages.
4. Pour une fente double, éclairée par une lampe au mercure, $\lambda_1 = 577 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 579 \text{ nm}$, combien de franges peut on théoriquement observer entre deux brouillages ?

Exercice 5: Brouillage d'une figure d'interférence **

Oral CCINP

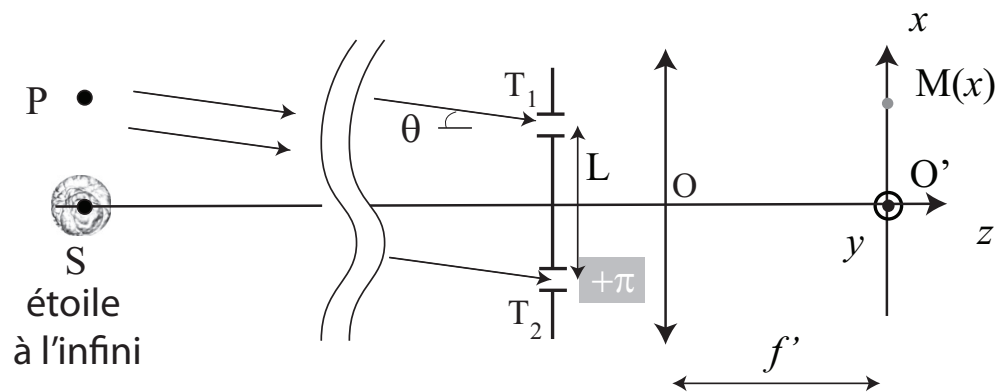
On éclaire, à partir d'une seule source et en incidence normale, deux trous d'Young T_1 et T_2 tels que $T_1T_2 = a = 1,0 \text{ mm}$.



1. Que se passe-t-il si la source est monochromatique. Où se situe l'ordre $p = 0$? Quel est l'aspect des franges ?
2. La source contient en fait tout le spectre visible avec une même intensité pour toutes les longueurs d'onde. Que se passe-t-il en $x = 0$, pour x proche de 0, pour x loin de 0 ?
3. On place un récepteur à $d = OM = 4,0 \text{ mm}$ de O. On observe des annulations dans le spectre obtenu, pourquoi ?
4. Trouver le nombre d'annulations et les longueurs d'onde associées.
5. On considère que si la variation de l'ordre p en un point est supérieure à 1, on a un brouillage. Pourquoi ?
6. Trouver à partir de quel x on observe un brouillage.

Exercice 6: Interférométrie stellaire bis **

On s'intéresse au rayonnement issu d'une exoplanète (P) situé à une distance angulaire θ d'une étoile nommée β Pictoris. Le dispositif interférentiel utilisé est celui des trous d'Young, une lame introduit un déphasage de $+\pi$ pour les rayons passant par T_2 .



1. Exprimer la différence de chemin optique totale entre les deux rayons issus de P et interférant en M . On suppose que les intensités issues des deux télescopes sont égales et que la vibration lumineuse est déphasée de π lors du passage par T_2 .
2. En déduire l'éclairement $I_P(x)$ du à l'exoplanète. On notera I_0 l'intensité lumineuse d'une seul télescope.
3. Le point P constitue-t-il une source cohérente avec l'étoile centrale β Pictoris ? Donner l'expression de l'éclairement total $I_{\text{tot}}(x, \theta)$ au point M .
4. On note $I_{\text{tot}}(\theta)$ l'éclairement total au point d'abscisse $x = 0$ donner l'expression $L_{n, \theta}$ des diverses valeurs de L qui permettent de rendre cette intensité maximale.
5. En déduire une méthode de mesure de la valeur de θ .

Données :

$$- \cos p + \cos q = 2 \cos \left(\frac{p+q}{2} \right) \cos \left(\frac{p-q}{2} \right);$$

$$- \cos(A+B) = \cos A \cos B - \sin A \sin B$$

Exercice 7: Résolution d'un doublet spectral avec réseau (MP seuls) **

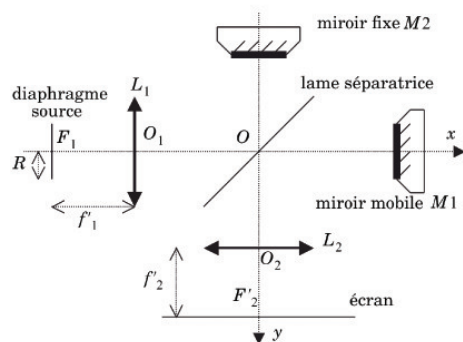
CCINP 2024

Un réseau de 400 traits par mm éclairé d'un angle $\theta_0 = 30^\circ$ par une source de longueur d'onde $\lambda = 589 \text{ nm}$.

1. Faites un schéma de la situation en traçant quelques rayons incidents et transmis.
2. Déterminer dans quels directions seront les maxima principaux.
3. Quel largeur du réseau doit être éclairée pour séparer le doublet de sodium ? ($\Delta\lambda = 0,6 \text{ nm}$). On précise que l'on peut séparer deux rayons de longueur d'onde λ et $\lambda + \Delta\lambda$ si le maximum principal associé à la longueur d'onde λ n'est pas plus proche de celui associé à la longueur d'onde $\lambda + \Delta\lambda$ d'une distance angulaire égale à celle entre le maximum principal et le premier minimum de l'intensité après ce dernier.

Interférences par division d'amplitude

Exercice 8: Interprétation d'observations au Michelson *



L'interféromètre est éclairé par une source étendue réalisée à l'aide d'un diaphragme ayant la forme d'un disque de rayon R et d'axe Ox . Ce diaphragme intercepte une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 550 \text{ nm}$. Il est placé dans le plan focal objet d'une lentille mince convergente L_1 de focale $f'_1 = 10 \text{ cm}$ et d'axe Ox . On observe la figure d'interférence sur un écran situé dans le plan focal image d'une lentille mince convergente L_2 de focale $f'_2 = 50 \text{ cm}$ et d'axe Oy . L'ensemble est placé dans l'air, dont l'indice est pris égal à 1.

1. On observe des anneaux sur l'écran. En déduire comment sont réglés les deux miroirs.
2. On chariote le miroir M_1 (translation dans la direction Ox) jusqu'à l'obtention d'un éclairage uniforme sur l'écran. Comment s'appelle cette situation ?
3. À partir de la position précédente, on chariote maintenant M_1 d'une distance e dans le sens des x croissants. Établir l'expression de la différence de chemin optique δ entre les deux ondes qui interfèrent en un point M de l'écran.
4. On relève le rayon du premier anneau sombre à partir du centre de la figure : $r_1 = 1,5 \text{ cm}$ et celui du neuvième anneau sombre : $r_9 = 4,8 \text{ cm}$. Calculer e .
5. Exprimer puis calculer le rayon r_2 du deuxième anneau sombre.

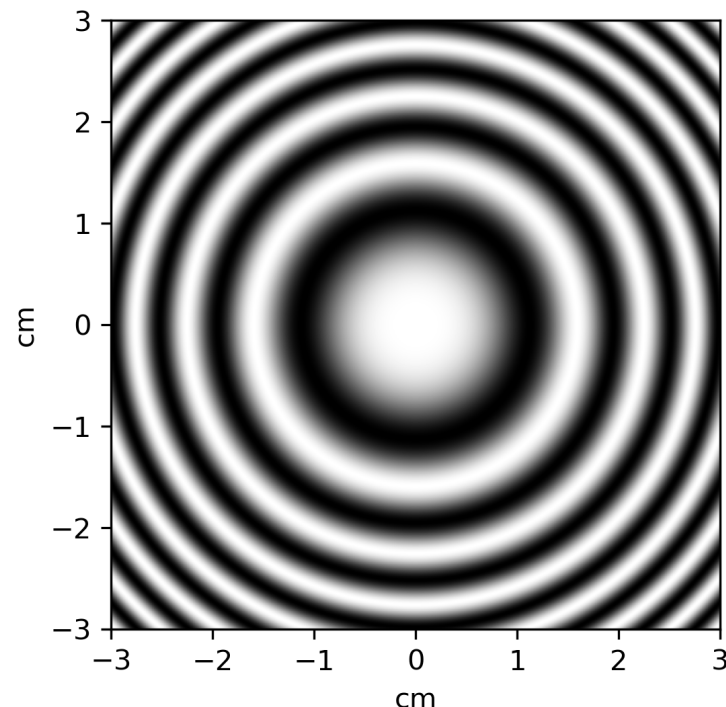
Exercice 9: La couleur perdue **



Exercice de type résolution de problème

Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air, et le célèbre physicien Louis Saheb a acquis une image de son observation sur l'écran. Malheureusement, il a pris le cliché en noir et blanc, et a oublié de noter la couleur de la lumière utilisée ! Il a cependant relevé que la distance du miroir charioté par rapport au contact optique était égale à $e = 2,00 \text{ mm}$, et que la distance focale de la lentille de projection utilisée était de $f' = 1,00 \text{ m}$. On admet que le centre de l'écran correspond à un maximum d'intensité.

Déterminer la couleur de la lumière utilisée lors de cette expérience.



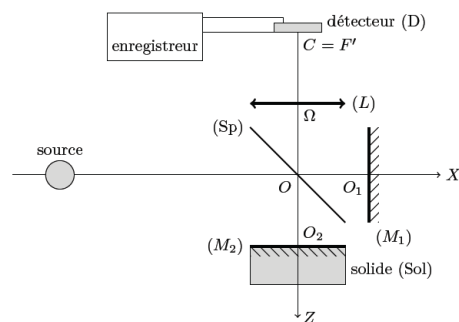
Exercice 10: Mesure de l'épaisseur d'une lame **

On dispose d'un interféromètre de Michelson réglé en coin d'air et éclairé par une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 589 \text{ nm}$. On place parallèlement au miroir M_1 une lame d'indice $n = 1,520$ et d'épaisseur e . On observe un déplacement de 36 franges. En déduire la valeur de e et proposer une détermination de son d'incertitude.

Exercice 11: Utilisation d'un interféromètre dans un gravimètre ***

Oral Centrale

Un interféromètre de Michelson est éclairé par une source monochromatique (longueur d'onde $\lambda = 633 \text{ nm}$ étendue, centrée sur l'axe OX). On note ℓ_1 la longueur OO_1 et ℓ_2 la longueur OO_2 . Cette longueur est variable, car (M_2) est relié à un solide (Sol) mobile en translation selon OZ . On note $e = \ell_2 - \ell_1$. (L) est une lentille convergente de centre optique Ω , de distance focale image $f' = 1,0 \text{ m}$ et de foyer image F_0 .



1. Le solide (Sol) est en chute libre. Il est lâché sans vitesse à $t = 0$ et $e(t = 0) = 0$. Le graphe 1 ci-dessous représente l'éclairement au point F_0 en fonction du temps. En déduire la valeur du champ de pesanteur terrestre g .
2. L'enregistreur utilisé est une photocellule qui est un petit disque de rayon R centré en F_0 et placé perpendiculairement à OZ . Cette photocellule délivre un signal électrique (correspondant à l'enregistrement précédent) proportionnel à la puissance lumineuse totale reçue par le disque.
 - (a) Quelle est l'intensité lumineuse reçue à une distance r de F_0 , dans le plan focal image de la lentille ?
 - (b) Si e est telle que l'intensité est maximale en F_0 , quelle est la dimension de la première frange sombre ?
 - (c) On représente sur le graphe 2 ci-dessous la puissance lumineuse totale P reçue par la photocellule en fonction de e . En déduire la valeur du rayon R .

