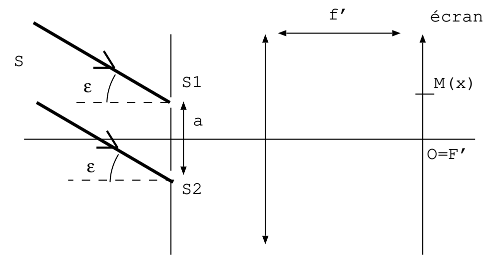
TD cohérences spatiale et temporelle

I. **Etoile lointaine**

1. Une étoile notée S émet des ondes planes de longueur d'onde λ. Ces ondes éclairent un dispositif composé de deux fentes fines d'Young S_1 et S_2 de même largeur d et distantes de a. On observe à travers une lunette astronomique assimilée à une lentille mince convergente.

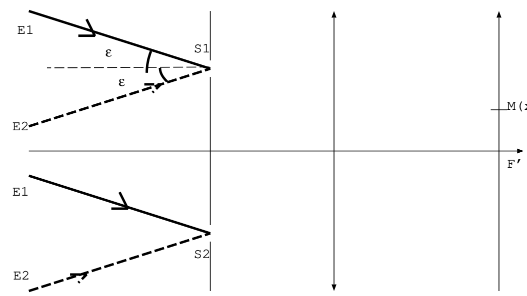
On tourne la lunette de telle sorte que les rayons émis par l'étoile font un petit angle ϵ par rapport à l'axe optique.



Construire les rayons lumineux qui interfèrent en M et exprimer la différence de marche $\delta_{2/1}(M) = (SS_2M) - (SS_1M)$.

2. Le même dispositif d'Young est maintenant éclairé par les deux composantes d'une étoile double vues sous un angle 2ϵ depuis la Terre.

Exprimer, en utilisant les résultats de la question précédente, les différences de marche $\delta_{E_1,2/1} = (E_1S_2M) - (E_1S_1M)$ et $\delta_{E_2,2/1} = (E_2S_2M) - (E_2S_1M)$.

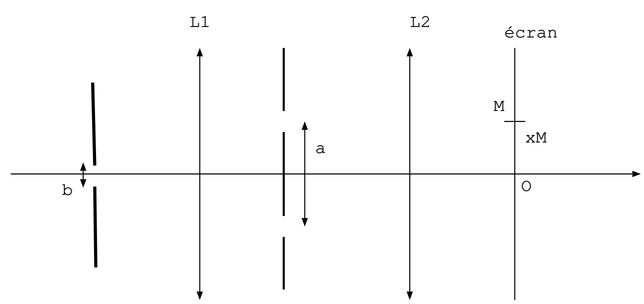


3. Pour certaines valeurs de a, on observe à l'écran un phénomène de brouillage. Expliquer le phénomène et exprimer les valeurs de a pour lesquelles il y a brouillage.

Réponses: 1- $\delta(M) = \dfrac{ax}{f'} + a\epsilon$ *3-* $a_k = (k + \dfrac{1}{2})\dfrac{\lambda}{2\epsilon}$

II. **Cohérence spatiale**

Un système de deux fentes d'Young distantes de $a = 100\ \mu m$ est éclairé par une fente source de largeur b symétrique par rapport à l'axe optique. La fente est dans le plan focal de la lentille L_1 de focale $f'_1 = 50\ cm$. La source est monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 540\ nm$. On note x_M l'abscisse d'un point M sur l'écran. L'écran est placé dans le plan focal d'une lentille de focale $f'_2 = 33\ cm$.



On rappelle que le critère de visibilité des franges est $\Delta p_{1/2}(M) = p_{S_{1/2}}(M) - p_{S_0}(M) < \dfrac{1}{2}$ où S_0 est le point de la fente sur l'axe optique et $S_{1/2}$ est un point juste au bord de la fente.

1. Expliquer physiquement le critère de visibilité des franges.

2. Exprimer $p_{S_{1/2}}(M)$ et $p_{S_0}(M)$.

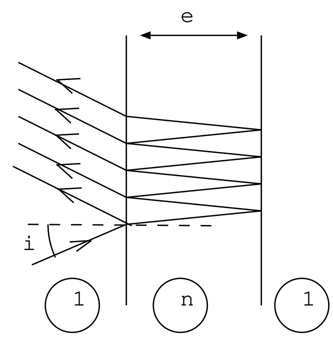
3. Estimer la largeur maximale de la fente pour que l'on observe des franges à l'écran.

Réponses : 2- $p_{S_0}(M) = \dfrac{ax}{\lambda f'_2}$ *et* $p_{S_{1/2}}(M) = \dfrac{ab}{2\lambda f'_1} + \dfrac{ax}{\lambda f'_2}$. *3-* $b_{critique} = 2,7\ mm$

III. **Bulle de savon**

Les longueurs d'onde extrêmes du spectre visible sont 400 nm et 800 nm. A quelles couleurs correspondent-elles ?

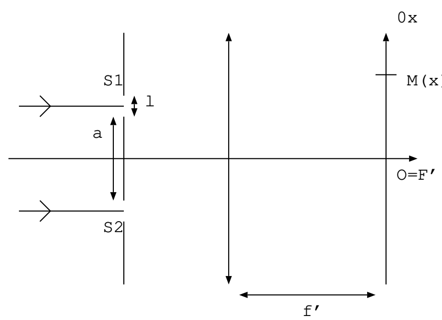
Un film de savon peut localement être considéré comme une lame à faces parallèles constituée d'eau d'indice $n = 1,33$. Ce film est éclairé sous incidence quasi-normale par une source lumière blanche dont les longueurs d'onde sont comprises entre 400 nm et 750 nm. La lumière subit de multiples réflexions à l'intérieur du film. Exprimer la différence de marche entre deux rayons consécutifs pour $i \approx 0$. Pour un film d'épaisseur $e = 2\ \mu m$, calculer le nombre de cannelures que l'on observe dans le spectre de la lumière réfléchie. Calculer la plus petite longueur d'onde donnant une cannelure.



Réponses : 6 cannelures, 426 nm

IV. **Cannelures**

On étudie le dispositif interférentiel des fentes d'Young identiques de largeur $l = 40\ \mu m$ et dont les centres sont distants de $a = 0,4\ mm$ éclairé en incidence normale par une lumière blanche. On observe la figure de diffraction dans le plan focal image d'une lentille convergente de focale image $f' = 50\ cm$. On donne $\lambda_{bleu} = 400\ nm$ et $\lambda_{rouge} = 800\ nm$.



1. Construire les rayons qui interfèrent en M et exprimer la différence de marche en M et en déduire l'interfrange pour une onde de longueur d'onde λ.

2. Qu'observe-t-on au point O en lumière blanche?

3. Déterminer le nombre de cannelures que l'on observe sur le spectre réalisé en M d'abscisse $x = 4,2\ mm$ sur l'écran et les longueurs d'onde correspondantes.

Réponses : $\delta(M) = \dfrac{ax}{f'}$ *et* 4 *cannelures*

V. **Spectre cannelé en lame d'air**

Un étudiant en TP d'optique a effectué un réglage en lame d'air d'un Michelson en utilisant deux lentilles de focale $f'_1 = 10\ cm$ et $f'_2 = 50\ cm$.

1. Quelle figure d'interférences observe-t-il sur l'écran en lumière monochromatique? Préciser le rôle des deux lentilles.

2. Quelle figure observe-t-il sur l'écran en lumière monochromatique quand il est pratiquement au contact optique ?

3. À partir de cette situation, il remplace la source de lumière monochromatique par une source de lumière blanche. Il observe une teinte blanche sur l'écran. Il observe cette lumière au spectroscope et distingue huit cannelures. En déduire une valeur approchée de l'épaisseur e de la lame d'air. Données: $\lambda_{bleu} = 400\ nm$ et $\lambda_{rouge} = 750\ nm$.

Réponse: $e \approx 3,4\ \mu m$

VI. **Brouillage avec la lampe au sodium**

1. Un interféromètre de Michelson est réglé en lame d'air. L'abscisse du chariot au contact optique est notée x_0. On donne la photo du vernier du Michelson à cette position, lire la valeur de x_0.

2. On éclaire le Michelson avec une source possédant un doublet de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 très proches. On chariote le chariot pour obtenir un brouillage. Déterminer les expressions des épaisseurs e de la lame d'air donnant un brouillage et en déduire les valeurs de x de la position du chariot les plus proches de x_0 pour lesquels il y a brouillage. Donnée: longueur d'onde moyenne: $\lambda_m = 589,0\ nm$ et $\Delta\lambda = 0,6\ nm$.

Réponses: 1- $x_0 = 20,11\ mm$ *2-* $e_k = (k + \frac{1}{2})\frac{\lambda_m^2}{2\Delta\lambda}$, $x = 19,97\ mm$ *et* $x = 20,25\ mm$

VII. **Source de largeur spectrale étendue**

Soit une source dont le spectre est compris entre $\lambda_{min} = 560\ nm$ et $\lambda_{max} = 590\ nm$. Elle éclaire le dispositif de deux fentes d'Young distantes de a. Données: $a = 350\ \mu m$, $D = 1\ m$ (distance fentes-écran).

1. Rappeler l'expression de l'ordre d'interférences en M et de l'interfrange. Calculer l'interfrange moyen.

2. Qu'observe-t-on au point O?

3. On donne le critère de brouillage des franges à l'écran $|p_{\lambda_{max}} - p_{\lambda_{moy}}| > \frac{1}{2}$. Expliquer ce critère et calculer la valeur positive de x à partir de laquelle il y a brouillage sur l'écran.

4. On réalise le spectre de la lumière au point d'abscisse $x = 8,5\ cm$ sur l'écran. Calculer le nombre de cannelures présentes dans le spectre et les longueurs d'onde qui correspondent à ces cannelures.

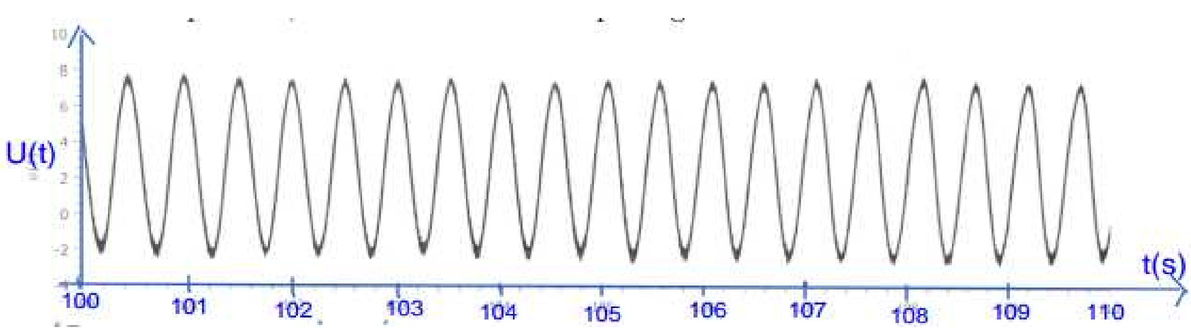
Réponses: 1- $i_{moy} = 1,64\ cm$ *2-* $x_{lim} = 3,2\ cm$ *3- 3 cannelures*

VIII. **Doublet jaune du mercure**

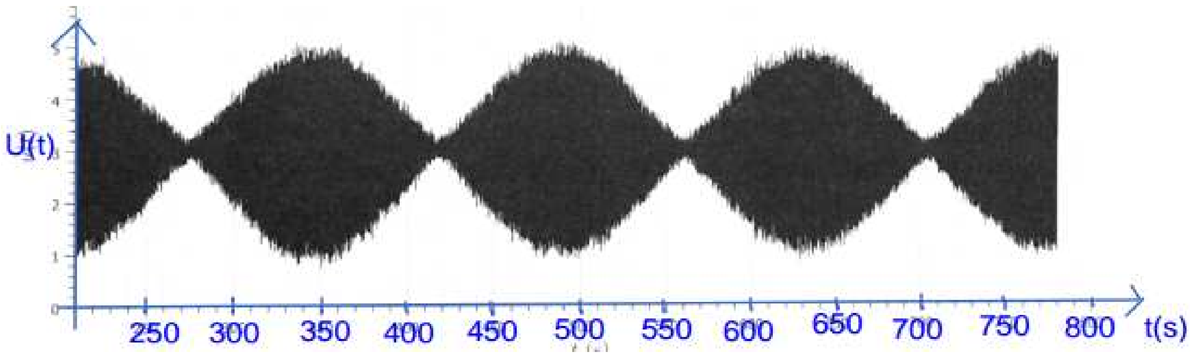
On souhaite déterminer expérimentalement les caractéristiques du doublet jaune du mercure. On utilise pour cela un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air et éclairé par une lampe à vapeur de mercure munie d'un filtre jaune. Le mercure possède un doublet de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 dans le jaune. Pour simplifier, on fait l'hypothèse que ces deux composantes ont la même intensité lumineuse I_0 et sont de largeur spectrale nulle. On note $\lambda_m = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ et $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$.

On place au centre O des anneaux un capteur de lumière de petite taille délivrant un signal U proportionnelle à l'intensité lumineuse en O. A l'aide d'un moteur, on translate le miroir mobile à vitesse constante $v = 0,56\ \mu m.s^{-1}$, ce qui permet de faire varier l'épaisseur de la lame d'air $e(t) = vt$ en partant du contact optique à l'instant $t = 0$.

On donne les deux courbes suivantes qui représentent l'enregistrement obtenu (soit l'intensité en fonction du temps), la première sur un temps court, la deuxième sur un temps long.



1. Exploiter le première courbe pour en déduire λ_m.



2. Mesurer la période des brouillages. Exploiter la deuxième courbe pour en déduire $\Delta\lambda$.

Réponses: 1- Période $T = \dfrac{\lambda_m}{2v}$ *soit* $\lambda_m = 580\ nm$ *2-* $\Delta t = \dfrac{\lambda_m^2}{2v\Delta\lambda}$ *entre deux brouillages et* $\Delta\lambda = 2,6\ nm$.