

Révisions Oral - Optique

Les bons réflexes :

- Penser à faire un schéma soigné : traits les plus droits possibles, angles d'incidences de l'ordre de 30° max, utiliser deux couleurs différentes pour la normale à la surface (en pointillés éventuellement) et le rayon étudié.
- Dans le cas de l'interféromètre de Michelson : faire le schéma complet si la question porte sur les conditions d'éclairage et d'observation, faire le schéma équivalent sinon. Bien justifier le choix des lentilles utilisées en faisant référence à la localisation de la figure d'interférence (à l'infini en lame d'air ou au niveau des miroirs en coin d'air).
- Connaître la formule de Fresnel ainsi que les conditions d'observation d'interférence.
- Savoir définir et utiliser l'ordre d'interférence et le contraste.

Oraux MPI - 2023

[1] - (Niveau 1) :

On considère un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air. On note $e = \ell_2 - \ell_1$ l'épaisseur de la lame d'air. Le miroir M_1 est fixe, le miroir M_2 , fixe à $t = 0$, fait une chute d'accélération $\vec{g} = g\vec{u}_z$. Un capteur placé au foyer image d'une lentille convergente enregistre un signal proportionnel à l'éclairement. La source utilisée est monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 632,8\text{nm}$.

Déduire une estimation de la valeur de g de l'enregistrement ci-dessous.

$\delta = 2e$ avec $e = \frac{1}{2}gt^2$ (chute libre)

⇒ On relève la position des maxima

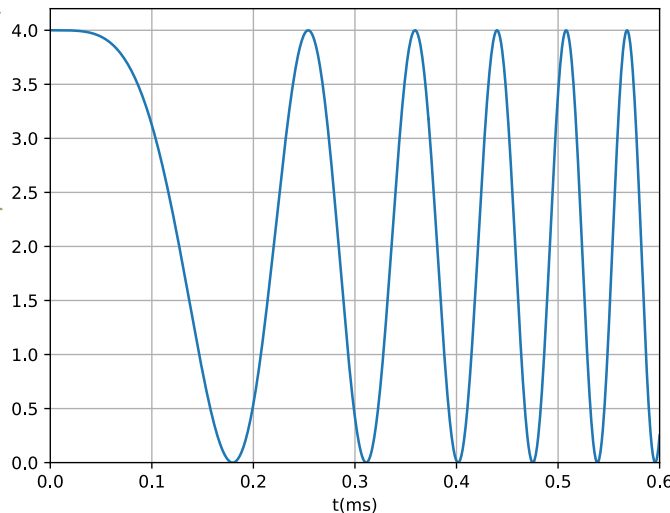
i	t_i (ms)
1	0
2	0,25
3	0,36
...	...

$\delta = p\lambda$ avec p entier lorsque le signal est max

avec $p_i = i$ a priori mais il peut y avoir un décalage

⇒ $gt_i^2 = p_i\lambda$

⇒ lorsqu'on trace t_i^2 en fonction de i on obtient une droite de pente $\frac{\lambda}{g}$



Vérification : $\frac{6 \cdot 10^{-7}}{2,5^2 \cdot 10^{-8}} : 10$ pour $i=1$

[2] - (Niveau 2) :

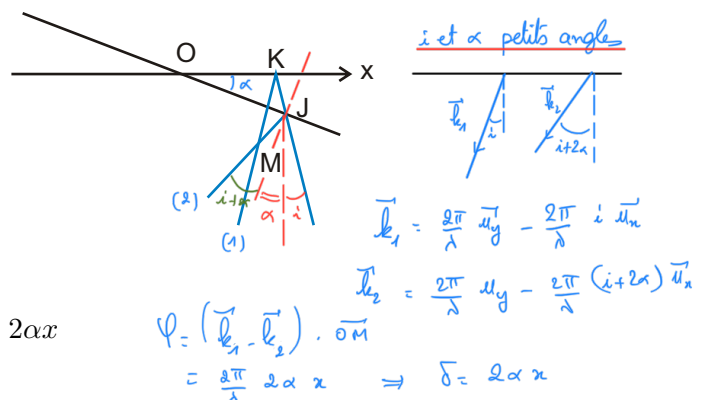
On s'intéresse à un interféromètre de Michelson réglé en coin d'air avec un angle α . Le diamètre des miroirs $d = 2\text{cm}$.

1 - Faire un schéma du dispositif en précisant les noms des composants. Où sont localisées les interférences ?

2 - On propose le schéma équivalent ci-dessous (l'angle d'incidence i en K est volontairement représenté différent de 0 même s'il tend vers 0 en pratique). Montrer que la différence de marche :

$\delta(M) \simeq 2\alpha x$

On se ramène à des interférences entre 2 ondes planes : $\lambda_1(M,t) = \lambda_0 e^{i(\omega t - \vec{k}_1 \cdot \vec{OM})}$ On choisit $O =$ origine des phases
 $\lambda_2(M,t) = \lambda_0 e^{i(\omega t - \vec{k}_2 \cdot \vec{OM})}$



- 3 - On utilise une lentille de projection de distance focale $f' = 20\text{cm}$. La distance D entre l'écran et la lentille est $1,3\text{ m}$. On voit défilé 100 franges lorsque e varie de $27\mu\text{m}$. Que peut-on mesurer avec cette expérience ?
- 4 - Que vaut l'interfrange sur l'écran pour $\alpha = 2,7 \cdot 10^{-4}\text{ rad}$.
- 5 - On se replace dans la situation $e = 0$. On élargit l'interfrange jusqu'à avoir un éclairement uniforme à 5% près avec un maximum d'éclairement au centre de la figure. En déduire une estimation de l'angle α dans cette configuration.

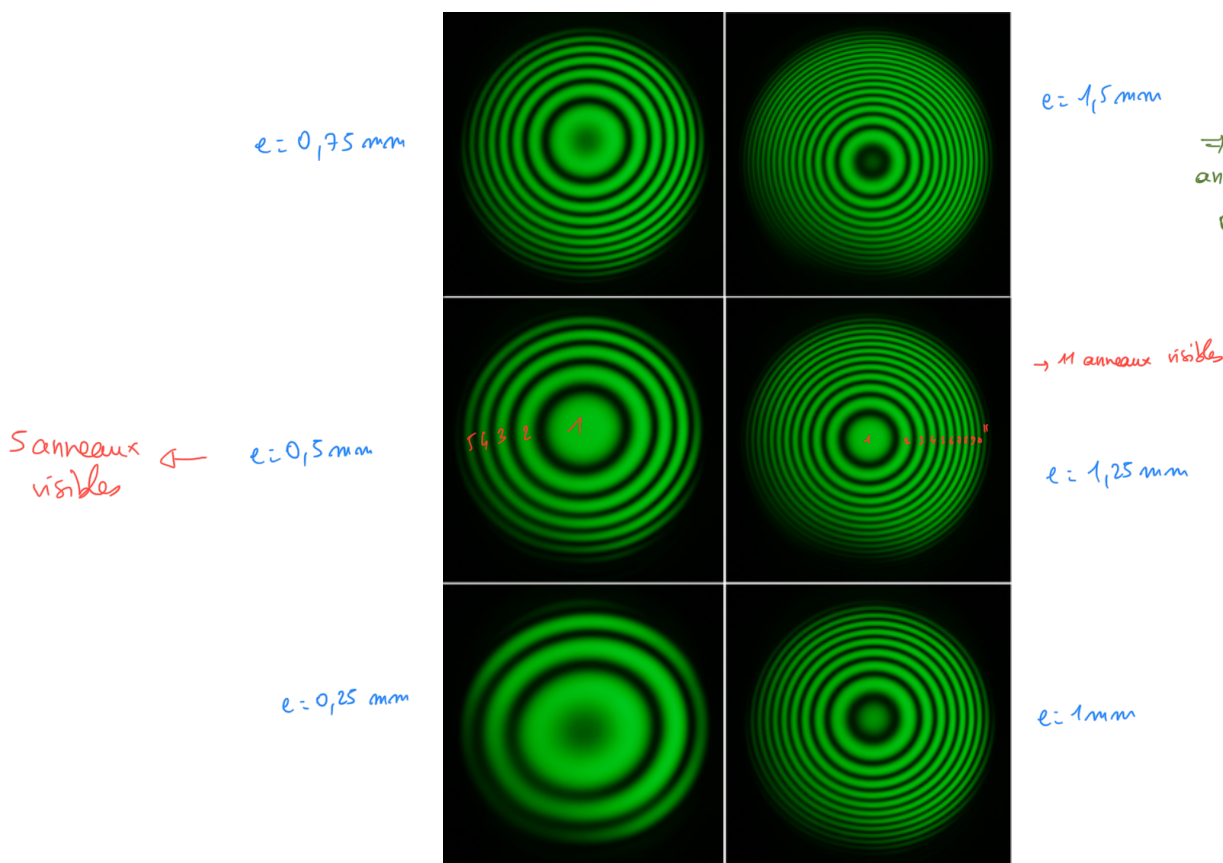
Complément - (Niveau 3) : On considère deux OPPM de vecteurs d'ondes \vec{k} et \vec{k}' peu différents. Les vibrations lumineuses associées à ces deux ondes sont en phase au point O . Déterminer l'expression de leur déphasage en un point M de l'espace. Utiliser ce résultats pour justifier l'écriture de la différence de marche dans le cas de la situation du coin d'air décrite dans l'exercice.

[3] - (Niveau 2) :

Les figures d'interférence ci-dessous ont été obtenues avec un interféromètre de Michelson éclairé par une lampe à vapeur de mercure filtrée ($\lambda = 546\text{nm}$) pour des épaisseurs de $0,25\text{mm}$; $0,5\text{mm}$; $0,75\text{mm}$; 1 mm ; $1,25\text{ mm}$ et $1,5\text{ mm}$.

De combien a varié l'ordre d'interférence au centre entre les figures correspondant à $e = 0,5\text{mm}$ et $e = 1,25\text{mm}$? Pouvait-on retrouver ce résultat sans connaître la longueur d'onde de la source ?

Au centre de la figure $\delta = 2e = p_0 \lambda \Rightarrow \Delta p_0 = \frac{2 \Delta e}{\lambda} \quad \frac{\Delta N}{N} \quad \Delta p_0 = \frac{2 \times 7,5 \cdot 10^{-4}}{5,46 \cdot 10^{-9}} \approx 2,7 \cdot 10^7$



3^e méthode :
anneaux brillants au centre
 \Rightarrow le rayon du $k^{\text{ème}}$ anneau brillant est
 $r_k = f' \sqrt{\frac{2k\lambda}{p_0}}$
 \hookrightarrow on peut trouver p_0 et p_0' sans connaître λ (mais on a besoin de f' !)

2^e méthode: on utilise le nombre d'anneaux visibles

$$\left. \begin{aligned} \delta_{\min} &= p_{\min} \lambda = 2e \cos \theta_{\max} \\ \delta_{\max} &= p_{\max} \lambda = 2e \end{aligned} \right\} N = p_{\max} - p_{\min} = \frac{2e}{\lambda} (1 - \cos \theta_{\max})$$

FIGURE 1 – Archives de la SFO - Agnès Maître , Gérard Rebmann , Saïda Guellati-Khélifa

$\Rightarrow \frac{N'}{N} = \frac{e'}{e} \Rightarrow e' = e \times \frac{N'}{N} \Rightarrow$ on a besoin de λ pour trouver $\Delta p_0 \Rightarrow$ ce ne fonctionne pas. mais on pourrait trouver Δe sans connaître λ .

Des exercices pour s'entraîner

1 Optique géométrique

On donne les formules de conjugaison :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} ; \overline{FA.F'A'} = -f'^2$$

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}$$

On considère un appareil photo composé d'un objectif assimilé à une lentille convergente (L) de distance focale $f' = 75\text{mm}$ mobile et d'un film fixe.

1- On observe un objet A_oB_o à une distance très éloignée de l'objectif. À quelle distance du film doit-on placer l'objectif?

$A'_oB'_o$ dans le plan focal image de l'objectif

2- Tracer l'image $A'_oB'_o$ de cet objet.

3- On pointe l'objectif sur un objet de 60 m situé à 0,3 km. Quelle est la taille de l'image sur le film ?

4- Quelle lentille utiliser pour que l'image soit 2 fois plus grande ?

5- On définit le tirage d de l'objectif comme la distance entre le foyer image F' de l'objectif et le film. Quelle est sa valeur maximale pour la lentille (L) si on peut mettre au point un objet situé entre 1,40 m et l'infini ?

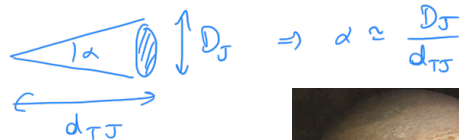
\hookrightarrow il faut utiliser $FA.F'A' = -f'^2$, on trouve $4,2 \cdot 10^{-3}$ m de tirage

2 Optique géométrique

Données :

— distance Terre-Jupiter $d_{TJ} = 642 \cdot 10^6 \text{km}$;

— diamètre de Jupiter $D_J = 1,40 \cdot 10^5 \text{km}$.



1- Observation à l'œil nu : Quel est le diamètre apparent de Jupiter? Quelle est la limite de résolution de l'œil? Jupiter apparaît-elle comme une tâche ou un point?

$\hookrightarrow 0,3 \text{ mrad}$

2- Lunette astronomique : Donner la condition pour observer un objet à l'infini. Faire un schéma du dispositif avec un tracé des rayons.

3- On note α l'angle incident et α' l'angle en sortie du dispositif par rapport à l'axe optique. Donner une expression du grossissement à l'aide des différentes focales. L'image est-elle droite ou renversée?

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f'_{oc}}{f'_{ob}}$$



4- On a 3 oculaires : 10mm, 25mm, 30mm. Lequel choisir pour avoir le meilleur grossissement? Quelle sera alors la distance focale de l'objectif permettant d'obtenir un grossissement de 50.

3 Optique ondulatoire

Une source S , monochromatique de longueur d'onde $\lambda_o = 480\text{nm}$, est placée sur le foyer objet d'une lentille L_1 , elle éclaire un dispositif de trous de Young centré sur l'axe optique avec S_1 et S_2 distants de a ($\overline{S_1S_2} = a\vec{u}_y$).

On place dans le plan focal image d'une lentille L_2 de focale $f'_2 = 100 \text{cm}$ un capteur dont le centre est situé en O sur l'axe optique permettant de mesurer l'intensité $I(y)$. On pose P un point du capteur.

1- Faire le schéma de la situation et tracer les rayons qui interfèrent en P .

2- Donner l'expression de l'intensité $I(y)$ en P en supposant que $y \ll f'_2$ (P proche de l'axe optique). On posera I_o l'intensité sur l'écran lorsqu'un des deux trous est occulté. Représenter $I(y)$.

3- On mesure sur la courbe $I(y)$ une distance de 1,2cm entre la frange centrale et la 10ème frange d'intensité maximale. En déduire la valeur numérique de la distance a entre les deux fentes. $\rightarrow 40 \mu\text{m}$

4- On place devant S_2 une plaque en verre d'épaisseur $e = 0,0150 \text{mm}$ et d'indice n . Donner l'expression de la nouvelle différence de marche. Que se passe-t-il au niveau de la figure d'interférence?

5- On mesure un minimum en O . Déterminer l'indice optique n en sachant que $1,490 < n < 1,500$.

$$2) I = 2I_o \left(1 + \cos \left(\frac{2\pi}{\lambda_o} a \frac{y}{f'_2} \right) \right) \quad (\text{rappel : théorème de Malus, principe du retour inverse de la lumière} \Rightarrow \delta = \frac{ay}{f'_2})$$

$$4) \delta = \frac{ay}{f'_2} + (n-1)e \Rightarrow \text{translation de la figure}$$

$$5) \left. \begin{array}{l} n = 1,5 \Rightarrow p = 15,6 \\ n = 1,49 \Rightarrow p = 15,3 \end{array} \right\} \text{ on a } (n-1)e = 15,5 \text{ \AA}$$

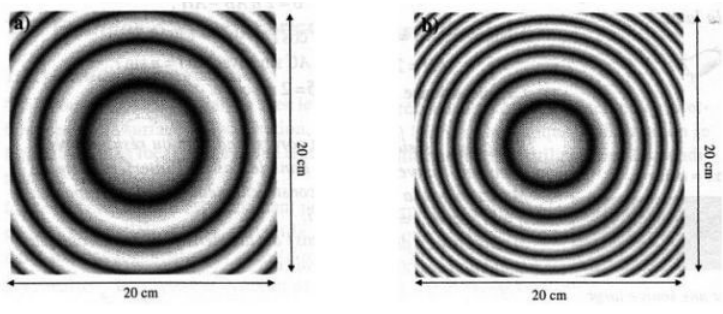
4 Optique ondulatoire

On considère un interféromètre de Michelson, éclairé par une source ponctuelle S , de longueur d'onde λ . À la sortie de l'interféromètre, on place une lentille (L) de focale f' et un écran dans le plan focal image de cette lentille.

Cours

- 1- Faire un schéma du dispositif, et tracer un rayon partant de la source avec une incidence i .
- 2- Calculer la différence de marche en fonction de i et e la largeur de la lame d'air. $\rightarrow e \rightarrow$, les anneaux sortent
- 3- Dans quel sens a-t-on chariotté entre la figure (a) et la figure (b)? Les anneaux entrent-ils ou sortent-ils?
- 4- Donner la définition de l'ordre d'interférence. On note r_p le rayon de la frange d'ordre p , et p_0 l'ordre de l'anneau central.
- 5- Que peut-on dire de p_0 dans le cas des figures (a) et (b) ci-après?
- 6- Montrer que le rayon du k -ième anneau est alors proportionnel à \sqrt{k} .

p_0 entier $(p = \frac{2e}{\lambda})$
 $p_k = p_0 - k$
 $\delta = 2e \cos \theta_k = p_k \lambda$
 $\Rightarrow 1 - \frac{\theta_k^2}{2} = 1 - \frac{k}{p_0}$
 $\theta_k = \sqrt{\frac{2k}{p_0}}$
 $\tan \theta_k = \frac{r_k}{f'}$
 $\Rightarrow r_k = f' \sqrt{\frac{2k}{p_0}}$



5 Optique ondulatoire

On s'intéresse à l'interféromètre de Michelson.

- 1- Décrire le fonctionnement de cet appareil? Donner le rôle des vis 1 à 7 (numérotées sur le schéma).
- 2- À quoi sert la séparatrice? Quels sont les 2 configurations que l'on peut réaliser avec cet appareil?
- 3- L'angle entre les deux miroirs est de $\pi/2$. On place devant un des miroirs une cuve de longueur $\ell = 5,00\text{cm} \pm 0,01\text{cm}$ dans laquelle on fait le vide. On éclaire le dispositif avec un faisceau monochromatique de longueur d'onde $\lambda_0 = 632,8\text{nm} \pm 0,1\text{nm}$. On remplit progressivement la cuve d'air, on voit alors défiler $N = 43$ franges. Montrer que l'indice de l'air n vérifie :

$$n = 1 + \frac{\lambda_0}{\ell} f(N)$$

δ varie de $2(n-1)\ell = N\lambda_0$
 $\Rightarrow n-1 = \frac{N\lambda_0}{2\ell}$
 $\frac{n(n-1)}{n-1} = \left(\left(\frac{n}{N} \right)^2 + \left(\frac{n\lambda_0}{\ell} \right)^2 + \left(\frac{n\ell}{\ell} \right)^2 \right)^{1/2}$

où $f(N)$ est une fonction que l'on précisera.

- 4- Évaluer n et l'incertitude associée.

