

Licence de Physique-Chimie 2^{ème} année (sections physique et chimie)
Examen d'optique (durée 2h30)

I- Loupe

On admettra que l'observateur ne perçoit de façon distincte que les objets dont les positions par rapport à l'œil sont comprises entre $d_{\max}=\infty$ et $d_{\min}=20$ cm (distances maximale et minimale de vision distincte).

Une loupe est constituée par une lentille mince convergente de centre optique O et de distance focale image f' . On note $\overline{A'B'}$ l'image que forme la loupe d'un objet $\overline{AB}$ perpendiculaire à l'axe optique.

1- Quelle est la zone où doit être placé l'objet $\overline{AB}$ pour obtenir une image $\overline{A'B'}$ agrandie et non inversée ? Justifier la réponse.

2- L'œil de l'observateur, placé au foyer image F' de la loupe, ne voit nettement à travers la loupe que lorsque l'objet $\overline{AB}$ est situé entre deux positions A_1 et A_2 de l'axe optique. Donner les positions A'_1 et A'_2 des images correspondant à A_1 et A_2 par rapport à F' puis par rapport à O . En déduire les positions extrêmes de l'objet autorisant une vision nette. Exprimer alors la latitude de mise au point D de cette loupe en fonction de f' et $d_{\min}$. Calculer D numériquement pour une lentille de vergence $V = 20 \text{ } \delta$.

3-Calculer le grandissement transversal G_t correspondant à une position A de l'objet telle que $A \in]O, F[$. Représenter cette configuration sur une figure soignée avec tracés des rayons.

4- Un petit objet $\overline{AB}$ est vu sous l'angle α à l'œil nu. Au travers de la loupe, l'image $\overline{A'B'}$ est vue sous l'angle α' depuis F' . Placer α et α' sur la figure précédente. Calculer dans ce cas la puissance de la loupe (on considère qu'on est en conditions de Gauss) et en donner sa valeur numérique.

Définition : La puissance (en dioptrie) d'un instrument d'optique est définie comme le rapport (en valeur absolue) de l'angle α' sous lequel est vue l'image sur la dimension (en mètre) de l'objet $\overline{AB}$.

II- Diffraction de la lumière par les fentes d'Young

La figure ci-dessous représente le dispositif des fentes d'Young placé dans l'air. Les deux fentes F_1 et F_2 sont identiques de centres O_1 et O_2 tels que $O_1O_2 = e$. Les fentes sont éclairées en incidence normale par une onde plane monochromatique de longueur d'onde λ et d'amplitude unité. On se place en condition de diffraction de Fraunhofer en plaçant un écran d'observation au foyer image d'une lentille convergente (voir figure 1a).

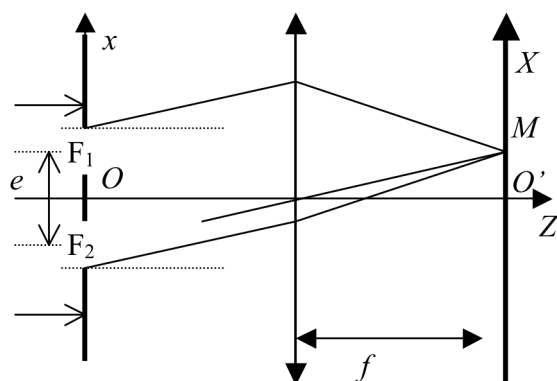


Figure 1a

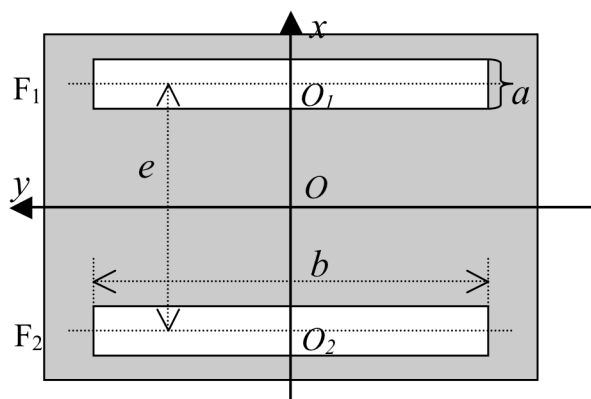


Figure 1b

1-Exprimer la transmittance $T(x,y)$ du diaphragme formant les deux fentes d'Young (fig. 1b).

2- Calculer l'amplitude diffractée complexe $\Psi(u,v)$ en tout point de l'écran d'observation. En déduire l'intensité $I(u,v)$. Que représentent u et v ?

3- On se place dans le cas de fentes de très grande longueur b selon Oy , c'est-à-dire que $a \ll b$ et $b \gg \lambda$. Montrer que :

$$\frac{\sin(\pi vb)}{\pi vb} = \delta(v), \text{ avec } \delta(v) = 1 \text{ si } v = 0 \text{ et } \delta(v) = 0 \text{ sinon.}$$

4- En déduire que l'intensité diffractée s'étale sur le seul axe $O'X$ et s'écrit :

$$I(u,v) = 4I_0 \delta(v) \left[\frac{\sin(\pi ua)}{\pi ua} \right]^2 \left[\cos(\pi ue) \right]^2.$$

5- Faire une représentation graphique soignée de $I(X)$ pour $e = 3,5 a$. On se limitera au pic principal de diffraction et aux premiers pics secondaires de part et d'autre du pic principal. Préciser les valeurs de X correspondant aux maxima d'intensité. Quel est le nombre de franges brillantes dans la tache centrale de diffraction ?

On donne : $u = X/\lambda f$ et $v = Y/\lambda f$.

6- Calculer numériquement la taille ΔX de la tache centrale de diffraction. On prendra les valeurs numériques suivantes : $\lambda = 633 \text{ nm}$, $a = 200 \mu\text{m}$ et $f = 1,5 \text{ m}$.

7- On ne s'intéresse qu'au seul terme d'interférence $4I_0 [\cos(\pi Xe/\lambda f)]^2$. Montrer que l'intensité peut s'écrire sous la forme : $I(\Phi) = 2I_0(1 + \cos\Phi)$. Donner l'expression de ϕ en fonction de X, e, f et λ .

8- Quelle est la position de la frange correspondant à $\Phi = 0$ et quelle est sa nature, sombre ou brillante ? Définir ce qu'est l'interfrange. Exprimer l'interfrange i en fonction de λ, f et e . Calculer numériquement i à partir des valeurs numériques de la question 6. On rappelle également $e = 3,5 a$.

9- On place juste avant la fente F_1 une lame à faces parallèles d'épaisseur $\varepsilon = 10 \mu\text{m}$ dont on veut mesurer l'indice n .

- Déterminer la différence de chemin optique ΔL supplémentaire introduite par la lame.
- Déterminer le nouveau déphasage Φ' . En observant la frange centrale, montrer que le système de franges d'interférence subit une translation t selon $O'X$. Exprimer t en fonction de f, e, n et ε . Quel est le sens de déplacement des franges ?
- On mesure $t = 9,4 \text{ mm}$. En déduire l'indice n de la lame de verre.

III- Déphasage et interférence à deux ondes

On considère une lame de verre à faces parallèles d'indice n et d'épaisseur e . Cette lame placée dans l'air est éclairée sous une incidence i par une onde plane monochromatique de longueur d'onde λ (Fig. 2).

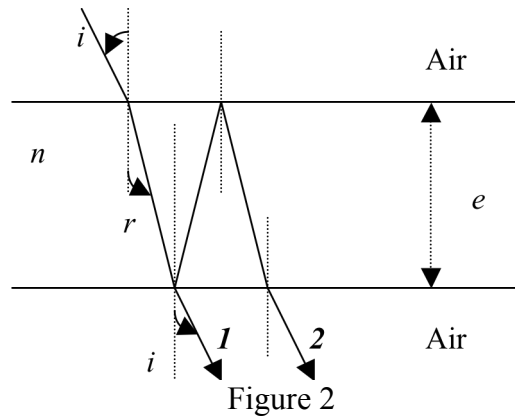


Figure 2

- 1- Calculer la différence de chemin optique L entre les rayons 1 et 2 transmis à travers la lame et en déduire que le déphasage en transmission s'écrit $\varphi = (2ne \cos r)2\pi/\lambda$
- 2- Soient $\underline{\Psi}_1$ et $\underline{\Psi}_2$ les amplitudes complexes des ondes correspondant aux rayons (1) et (2). Expliciter leurs expressions en fonction de l'amplitude transmise $\sqrt{I_0}$ (on suppose que les rayons 1 et 2 ont même amplitude) et du déphasage φ . Où sont situées les interférences ?
- 3- On place après la lame une lentille mince convergente de focale f' . Où observe-t-on les interférences, et montrer que l'intensité est de la forme $I(\varphi) = 2I_0 + 2I_0 \cos \varphi$.
- 4- Exprimer X en fonction de i et f' , on se place dans la limite des petits angles. En déduire une expression de φ en fonction de X , n , f' et λ , e .
- 5- Donner la condition sur φ pour obtenir des interférences constructives à la sortie de la lame (maxima d'intensité). On note m l'ordre d'interférence.
- 6- On éclaire maintenant la lame sous incidence normale. Que devient la condition d'interférences constructives ? La lame à faces parallèles peut être utilisée comme filtre interférentiel. Les longueurs d'ondes transmises correspondent aux interférences constructives. Montrer que seules certaines longueurs d'onde λ_1 , λ_2 , λ_3 , etc peuvent traverser la lame.
- 7- Sous incidence normale, on considère que $\lambda_1 = 546 \text{ nm}$ est une longueur d'onde que laisse passer la lame à l'ordre 1. En déduire que c'est la seule longueur d'onde du domaine visible pouvant traverser la lame. Calculer λ_2 et λ_3 . Dans quel domaine du spectre se trouvent-elles ?

On donne $\tan \theta \approx \sin \theta \approx \theta$ et $\cos \theta \approx 1$ dans la limite des petits angles.