

Physique : DM8

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction**, la **clarté** et la **précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats littéraux, et à souligner les applications numériques.

Les miroirs de télescope

I.1. Interférences de deux sources ponctuelles

L'espace est rapporté à un repère orthonormé direct $\mathcal{R} = (O, xyz)$. Des interférences lumineuses sont obtenues à l'aide d'un dispositif interférentiel permettant de créer deux sources ponctuelles cohérentes S_1 et S_2 à partir d'une même source ponctuelle monochromatique de longueur d'onde dans l'air λ . Les deux sources S_1 et S_2 , distantes de a , émettent des ondes lumineuses sphériques en phase et de même intensité (ou éclairement) I_0 . Le milieu S du segment S_1S_2 est situé sur l'axe Ox . L'écran d'observation est placé dans le plan yOz à la distance d de S . Le dispositif interférentiel est placé dans l'air d'indice 1. Il permet d'orienter l'axe des sources, soit parallèlement à l'écran selon l'axe Oz (**figure 1**), soit perpendiculairement à l'écran selon l'axe Ox (**figure 2**).

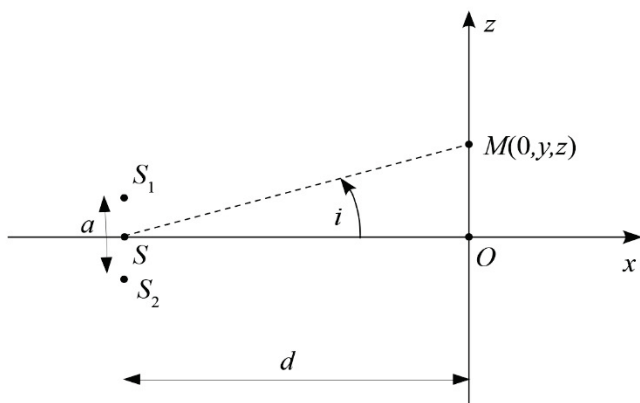


Figure 1

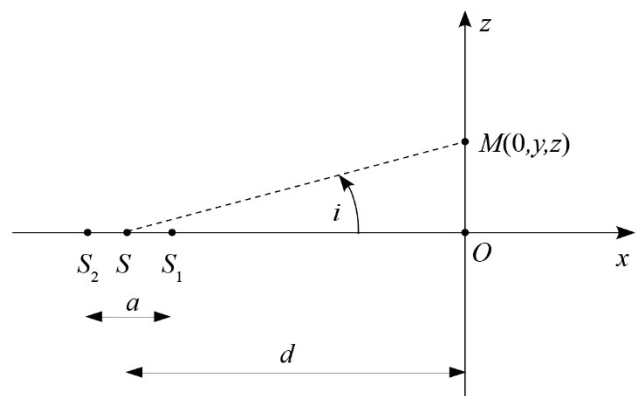


Figure 2

- I.1.1.** Exprimer l'intensité lumineuse (ou l'éclairement) $I(M)$ en un point $M(0, y, z)$ de l'écran en fonction de l'intensité I_0 de chacune des sources et du déphasage $\Delta\phi(M)$ au point M entre les deux ondes issues de S_1 et S_2 .
- I.1.2.** Relier $\Delta\phi(M)$ à la différence de marche géométrique $\Delta L(M)$ au point M entre les deux ondes lumineuses provenant des sources S_1 et S_2 et atteignant M .

- I.1.3.** On se place dans le cas où l'axe des deux sources est parallèle au plan de l'écran (**figure 1**, page 2). Pour observer des interférences, le dispositif interférentiel est éclairé avec une source monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 500\text{nm}$ et réglé de façon à obtenir une figure d'interférence dont les dimensions sont de l'ordre du centimètre, avec $a = 1\text{mm}$ et $d = 1\text{m}$.
- I.1.3.a.** En fonction des réglages imposés au dispositif interférentiel, exprimer la différence de marche $\Delta L(M)$ en fonction de a , d et de la position du point M .
- I.1.3.b.** Exprimer l'intensité $I(M)$ sur l'écran d'observation en fonction de la position du point M .
- I.1.3.c.** Calculer l'ordre d'interférence p_0 au point O . Commenter.
- I.1.3.d.** Décrire l'allure de la figure d'interférence observée sur l'écran. Déterminer en fonction de a , λ et d la distance d_i entre deux franges brillantes (interfrange).
- I.1.3.e.** Application numérique : calculer la position du premier maximum d'intensité lumineuse situé en dehors du centre O de l'écran.
- I.1.4.** On se place maintenant dans le cas où l'axe des deux sources est perpendiculaire au plan de l'écran (**figure 2**, page 2). Le dispositif interférentiel est toujours éclairé avec la même source et il est réglé de façon à obtenir une figure d'interférence dont les dimensions sont de l'ordre du centimètre avec $a = 1\text{mm}$ et $d = 1\text{m}$.
- I.1.4.a.** En fonction des réglages imposés au dispositif interférentiel, montrer que la différence de marche $\Delta L(M)$ au point M s'exprime en fonction de a et de l'angle i , formé entre le segment SM et l'axe Ox par la relation :

$$\Delta L(M) = a \cos i.$$
- Il sera judicieux d'utiliser l'égalité $S_1M^2 = SM^2 + SS_1^2 - 2\overline{SM} \cdot \overline{SS_1}$.
- I.1.4.b.** D'après les dimensions de la figure d'interférence, l'angle i est voisin de 0 et on peut utiliser les développements limités de sinus, cosinus et tangente à l'ordre 2. Exprimer la différence de marche $\Delta L(M)$ au point M en fonction de d , a et de la position du point M .
- I.1.4.c.** Donner l'expression de l'intensité $I(M)$ sur l'écran d'observation en fonction de la distance $\rho = OM$.
- I.1.4.d.** Application numérique : calculer l'ordre d'interférence p_0 au point O . Commenter.
- I.1.4.e.** Représenter, en la justifiant, l'allure de la figure d'interférence observée sur l'écran.

I.1.4.f. Evaluer approximativement la position du premier maximum d'intensité lumineuse situé en dehors du centre O de l'écran.

I.1.5. Comment faut-il modifier le système pour observer les figures d'interférences localisées à l'infini ?

I.2. Dispositif interférentiel

Le dispositif interférentiel est représenté **figure 3**. Son principe de fonctionnement est similaire à celui de l'interféromètre de Michelson. Il est composé d'un séparateur de faisceau constitué de deux prismes droits de section rectangle isocèle identiques accolés par leurs bases et de deux miroirs plans M_1 et M_2 , de centre respectif O_1 et O_2 . Il est éclairé par une source ponctuelle S_L , obtenue grâce à un faisceau de lumière parallèle monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 500 \text{ nm}$ provenant d'un laser ; le faisceau laser est expansé grâce à une lentille de focale image $f' = 1 \text{ cm}$ placée entre le faisceau laser et la face d'entrée du séparateur. Le séparateur de faisceau se comporte comme une lame séparatrice L_p , unique, d'épaisseur nulle (face commune aux deux prismes) qui transmet 50 % de l'intensité lumineuse, l'autre partie étant réfléchie.

On note $\ell = S_L O_p = 10 \text{ cm}$ la distance entre la source ponctuelle S_L et le centre O_p de la séparatrice et $L = O_p O = 70 \text{ cm}$ la distance entre la séparatrice et l'écran (E).

Les deux miroirs sont mobiles et peuvent pivoter autour de leurs axes $O_1 y$ et $O_2 y$. On note α_1 et α_2 les angles de rotation de chacun des miroirs, pris respectivement entre $(O_1 z$ et M_1) et $(O_2 x$ et M_2).

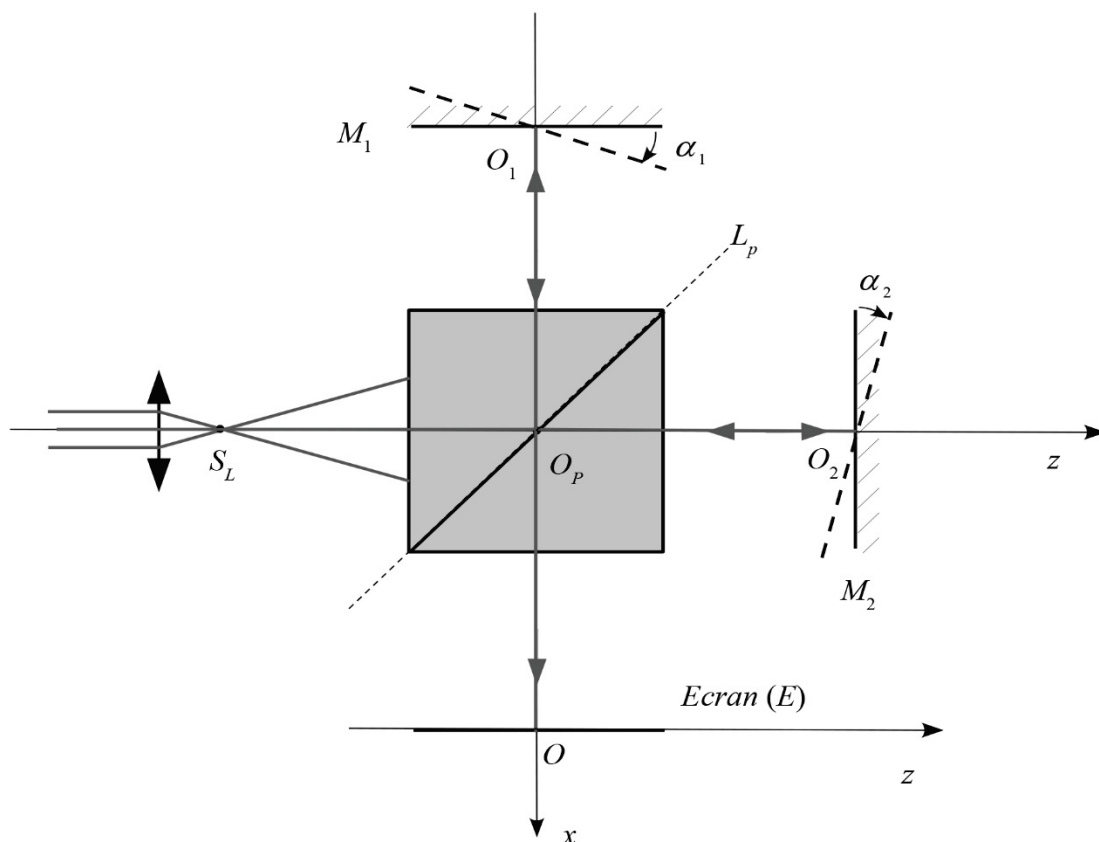


Figure 3 : dispositif interférentiel

- I.2.1.** On se place dans le cas où les deux miroirs M_1 et M_2 sont orthogonaux (M_1 est dans le plan yO_1z et M_2 dans le plan xO_2y). Les positions des miroirs sont données par les distances $d_1 = O_pO_1$ et $d_2 = O_pO_2$ avec $d_2 \geq d_1$.
- I.2.1.a.** En vous aidant d'un schéma clair, déterminer les coordonnées dans le repère (O,xyz) des sources secondaires S_1 et S_2 créées par l'interféromètre en fonction de ℓ , L , d_1 et d_2 . S_1 est l'image de la source S_L issue des réflexions sur L_p et M_1 ; S_2 est l'image de S_L issue des réflexions sur M_2 et L_p .
- I.2.1.b.** En déduire la distance a qui sépare les sources S_1 et S_2 et la distance d de leur milieu S à l'écran en fonction de ℓ , L , d_1 et d_2 .
- I.2.1.c.** Le miroir M_1 réglé à $d_1 = \ell$ restant fixe, le miroir M_2 est translaté de façon à obtenir un éclairement uniforme de l'écran. Donner dans ces conditions la valeur de a .
- I.2.2.** A partir de la position précédente, le miroir M_2 est déplacé parallèlement à l'axe Oz d'une distance e , telle que $d_2 - d_1 = e > 0$ avec $e \ll d_1$ et $e \ll d_2$.
- I.2.2.a.** Décrire la figure d'interférence observée sur l'écran.
- I.2.2.b.** Le centre de la figure d'interférence est brillant. La première frange brillante, hors de l'axe, est située à 20 mm du centre de la figure. Calculer, à partir des résultats obtenus dans la partie **I.1**, la distance e .
- I.2.2.c.** Calculer l'ordre d'interférence au centre de la figure d'interférence.
- I.2.3.** A partir de la position des miroirs obtenus question **I.2.1.c**, on fait subir à chaque miroir une très faible rotation, dans le même sens et du même angle α ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$).
- I.2.3.a.** Montrer, en vous aidant d'un schéma, que les sources secondaires S_1 et S_2 créées par l'interféromètre sont situées sur un axe parallèle à Oz , le milieu S de S_1S_2 étant sur l'axe Ox .
- I.2.3.b.** Déterminer la distance a entre les deux sources et la distance d du milieu des sources à l'écran en fonction de α , ℓ et d_1 ou d_2 .
- I.2.3.c.** Décrire la figure d'interférence observée sur l'écran.
- I.2.3.d.** La distance entre deux franges brillantes consécutives est égale à $d_i = 5 \text{ mm}$. Calculer, à partir des résultats obtenus dans la partie **I.1**, l'angle α en radians.
- I.2.3.e.** Comment varie la distance entre les franges si on augmente l'angle α ?