

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

GENIE OPTIQUE

option OPTIQUE INSTRUMENTALE

Epreuve de PHYSIQUE APPLIQUEE

Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE

Durée 2 heures 30

coefficient 2,5

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

Document à rendre avec la copie :
ANNEXEpage 5

Matériel autorisé :

Calculatrice conformément à la circulaire n°99-186 du 16/11/1999

Sont autorisées toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimantes.

Le candidat n'utilise qu'une seule machine sur la table. Toutefois, si celle-ci vient à connaître une défaillance, il peut la remplacer par une autre.

Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machines entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.

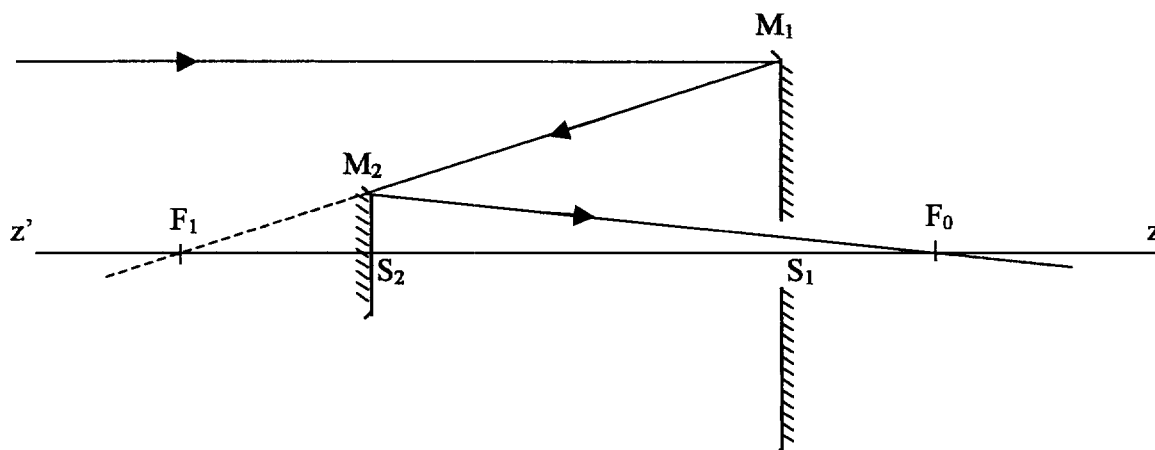
Tout autre matériel est interdit

*Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte : 5 pages numérotées de 1 à 5.*

I) OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE (12 points)

On veut étudier un télescope de configuration Cassegrain proche du télescope spatial « Hubble ».

L'objectif d'un tel instrument est constitué de deux miroirs coaxiaux d'axe $z'z$. On peut adapter à cet ensemble différents détecteurs pour enregistrer et analyser l'image située dans son plan focal (F_0 est foyer de l'ensemble des deux miroirs) comme le montre le schéma ci-dessous :



La lumière incidente se réfléchit sur le miroir primaire concave puis sur le miroir secondaire convexe. L'image se forme par convergence du faisceau qui passe dans le trou central percé dans le miroir primaire. On considère, dans la suite du problème, que les deux miroirs sont sphériques de sommets S_1 et S_2 et de rayons de courbure R_1 et R_2 .

1. Miroir primaire M_1 seul :

L'objet, un astéroïde par exemple, est vu dans l'axe du miroir sous un angle $\theta = 0,250$ mrad.

Données relatives à ce miroir :

rayon de courbure $R_1 = 11,00$ m ; diamètre d'ouverture $D_1 = 2,40$ m.

1.1. Calculer la distance focale f_1 du miroir M_1 .

1.2. Caractériser la nature, la position, le sens et la grandeur de l'image que donne le miroir M_1 de l'astre.

2. Objectif complet (association des 2 miroirs) :

Le miroir secondaire M_2 agrandit l'image primaire dans un rapport m_2 qui dépend de sa position S_2S_1 par rapport à M_1 et de sa distance focale f_2 .

On donne : $\overline{S_2S_1} = 4,900$ m, $\overline{S_2F_1} = -0,600$ m, $\overline{S_1F_0} = 1,485$ m.

2.1. Donner la chaîne d'image correspondant à l'association des deux miroirs.

2.2. Exprimer puis calculer la distance focale f_2 et le grandissement m_2 .

2.3. Exprimer la distance focale f_0 de l'objectif complet en fonction de la distance focale f_1 du miroir M_1 et du grandissement m_2 .

Faire l'application numérique et vérifier que la valeur de f_0 est proche de 59 m.

2.4. Expliquer pourquoi on peut qualifier cet objectif de « compact ».

3. flux :

La monture du premier miroir, partiellement occulté par le second, constitue le diaphragme d'ouverture de l'objectif.

3.1. Exprimer et calculer le flux ϕ reçu d'un astre qu'on voit dans l'axe du miroir sous l'angle $\theta = 0,250$ mrad. La luminance moyenne de l'astre est $L = 0,500 \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$. Il faut tenir compte de l'occultation du miroir M_1 produite par la monture du miroir M_2 de diamètre $D_2 = 0,40$ m.

On donne l'expression du flux : $\phi = \pi L S \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)$ où S désigne une surface à préciser.

3.2. Exprimer et calculer l'éclairement moyen de l'image de l'astre, en admettant que le facteur de transmission de l'objectif est de 0,95. On pourra calculer au préalable la surface de l'image de l'astre.

4. Champ :

On détecte l'image obtenue dans le plan focal $[F_0]$ de l'objectif au moyen d'un capteur CCD. La surface utile du capteur est un disque de diamètre 60,0 mm.

On admet que la monture circulaire du capteur constitue le diaphragme de champ de l'objectif.

Montrer sur le schéma de l'annexe à rendre avec la copie, que le diamètre du miroir secondaire et le diamètre du trou dans le miroir primaire peuvent limiter le champ.

II) OPTIQUE PHYSIQUE (8 points)

Sur la surface réfléchissante d'un miroir parabolique concave, on colle un écran opaque et non réfléchissant qui couvre le miroir, à l'exception de deux petit trous O_1 et O_2 , percés dans cet écran. Les trous O_1 et O_2 sont symétriques par rapport au sommet S du miroir et séparés par la distance l réglable. On observe dans le plan focal du miroir, au voisinage immédiat de son foyer F , la lumière renvoyée en O_1 et O_2 par le miroir. Cette lumière monochromatique de longueur d'onde λ provient d'une source ponctuelle située sur l'axe du miroir à une très grande distance du sommet S . L'onde incidente peut être considérée comme plane (figure 1).

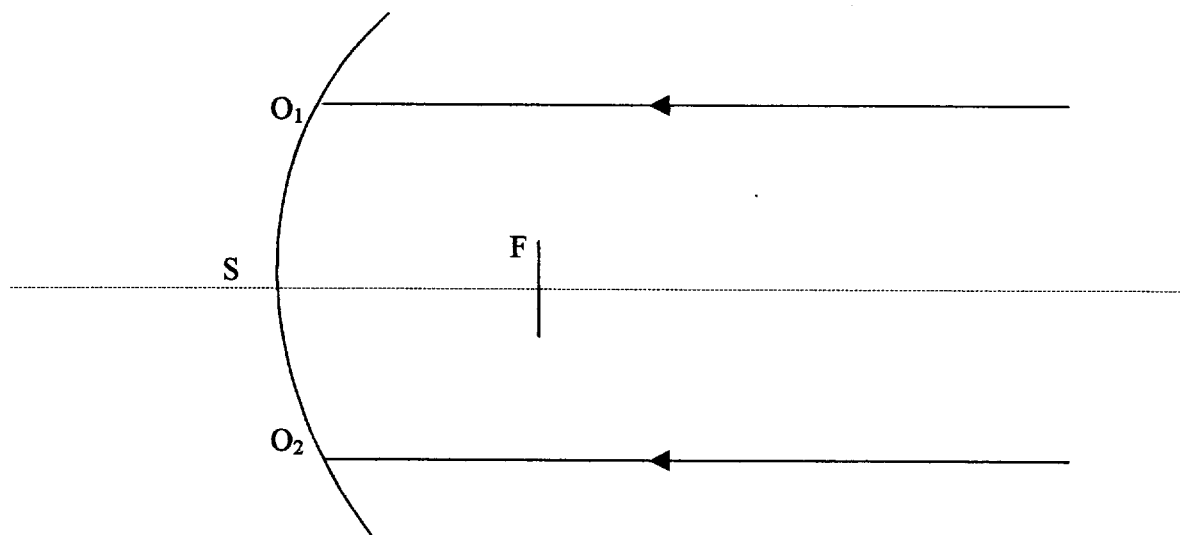


Figure 1

1. Modèle simplifié :

1.1. En raisonnant par analogie avec le dispositif classique de Young, justifier que l'on observe des franges d'interférence au voisinage de F.

1.2. Indiquer l'orientation de ces franges par rapport au plan (P) défini par les points O_1 , O_2 et F.

1.3. L'interfrange a pour expression $i = \frac{\lambda f}{l}$ où f est la distance focale du miroir.

Faire l'application numérique pour $\lambda = 520 \text{ nm}$; $l = 15,2 \text{ cm}$; $f = 7,60 \text{ m}$.

2. On remplace les trous O_1 et O_2 par des fentes très fines et de faible longueur disposées en O_1 et O_2 perpendiculairement au plan (P) et symétriquement par rapport à celui-ci. La source ponctuelle est remplacée par une fente très fine, parallèle aux fentes placées en O_1 et O_2 . Elle est située sur l'axe du miroir et très éloignée de ce dernier.

2.1. Ces nouvelles conditions modifient-elles le système de franges observé précédemment ? Justifier.

2.2. La fente source est rectangulaire, symétrique par rapport au plan (P) et par rapport à l'axe (SF) du miroir. On désigne par a la largeur de la fente et par D sa distance au miroir. Cette distance est très grande par rapport à la distance focale f. Le rapport $\varepsilon = \frac{a}{D}$ reste très petit. Soit M un point du

plan focal du miroir, voisin de F et situé dans le plan (P) tel que la mesure $\overline{FM} = x$.

On démontre que l'éclairement $E(\varepsilon, x)$ produit par la fente source au point M a pour expression :

$$E(\varepsilon, x) = \frac{A\varepsilon}{2} \left[1 + \frac{\sin(\pi\varepsilon \frac{l}{\lambda})}{\pi\varepsilon \frac{l}{\lambda}} \cos(2\pi \frac{\delta(x)}{\lambda}) \right]$$

A est un coefficient de proportionnalité et $\delta(x)$ la différence de marche en M.

2.2.1. De quelles grandeurs physiques peut dépendre le coefficient A ?

2.2.2. Quelles sont, exprimées en fonction de λ et l, les valeurs de ε pour lesquelles l'éclairement du plan focal devient uniforme par suite de la disparition des franges d'interférence ?

3. L'expression de ε trouvée dans la question 2.2.2. pour une première disparition des franges est établie dans l'hypothèse d'une fente source rectangulaire. La source est maintenant assimilable à un disque circulaire plan uniformément lumineux de diamètre a situé à une distance D du miroir. On admet que le résultat de la question 2.2.2. multiplié par le facteur 1,22 est alors valable.

On veut déterminer le diamètre apparent de certaines étoiles en utilisant un miroir parabolique de diamètre d'ouverture $d = 2,5 \text{ m}$.

3.1. Quelle méthode peut-on proposer ?

3.2. Calculer le diamètre apparent minimum mesurable pour $\lambda = 520 \text{ nm}$.

4. Pour augmenter le domaine d'utilisation de la méthode précédente, on associe au miroir parabolique un ensemble de quatre petits miroirs plans (figure 2) inclinés à 45° sur son axe et qui renvoient la lumière de l'étoile sur le miroir parabolique. Les miroirs M_1 et M_2 sont étroitement diaphragmés au moyen d'écrans percés chacun d'une fente fine F_1 ou F_2 perpendiculaire au plan de figure.

Expliquer en quoi l'efficacité du dispositif est améliorée.

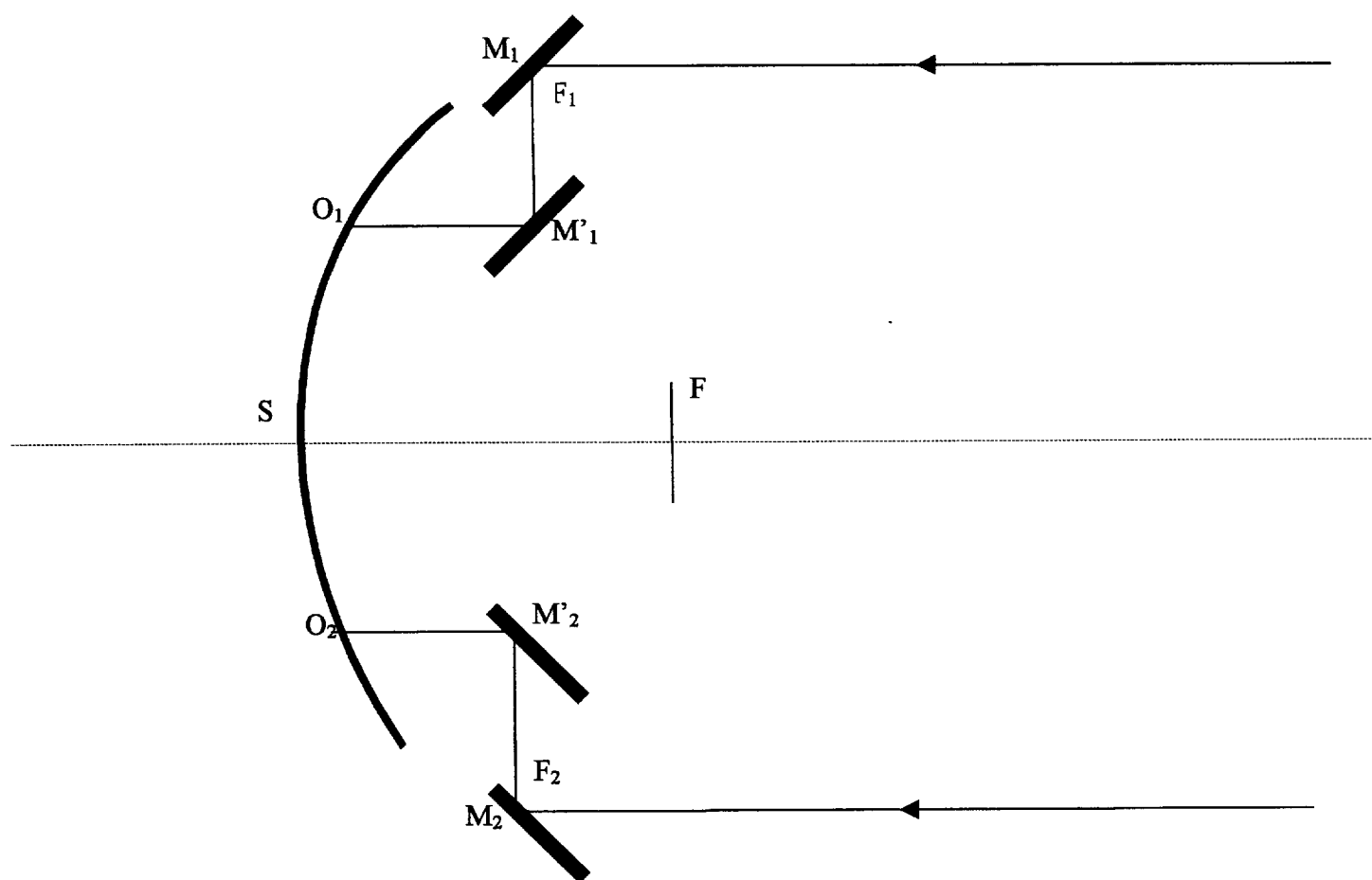


Figure 2

ANNEXE à rendre avec la copie :

