

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 : page 6/7

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 : 7 pages numérotées de 1/7 à 7/7.

Ce problème comporte deux parties : il y a trois exercices indépendants dans la première, et un seul exercice dans la deuxième.

A. OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE : ÉTUDE D'UN PYROMÈTRE (14 points)

Le pyromètre est un système optique qui permet de mesurer la température d'un matériau sans contact. Le schéma optique du pyromètre est donné dans l'**annexe n°1 qui sera à rendre avec la copie.**

Partie I. Étude de l'oculaire

L'oculaire est composé de deux lentilles L_3 et L_4 , convergentes, considérées comme minces et de centres optiques respectifs O_3 et O_4 . La distance focale image de L_3 est $f'_3 = 30,0$ mm. Le symbole de l'oculaire est (3,2,3).

- 1) Déterminer la distance focale image f'_4 de L_4 et la mesure algébrique $\overline{O_3O_4}$.
- 2) En déduire la distance focale image f'_{oc} de l'oculaire.
- 3) Calculer la mesure algébrique $\overline{O_3F_{oc}}$ (avec F_{oc} foyer objet de l'oculaire).
Peut-on associer un réticule à l'oculaire ? Si oui, où doit-on le placer afin qu'il soit visible par un observateur emmétrope qui n'accommode pas ?

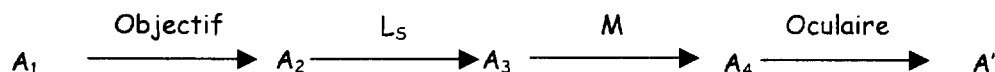
Partie II. Étude de champ

Le diaphragme L_D de rayon $R_D = 15$ mm est placé en sortie de l'objectif représenté sur l'annexe n°1 par ses plans principaux. L_D est diaphragme d'ouverture de la voie d'observation.

Un diaphragme L_C de rayon $R_C = 5$ mm (diaphragme de champ) est placé en O_C tel que $\overline{O_M O_C} = 20$ mm.

M est un miroir plan et L_S une lame semi-réfléchissante qui joue le rôle d'un miroir plan pour la voie d'observation. On donne la distance $\overline{O_M O_S} = 50$ mm.

La voie d'observation est caractérisée par la chaîne des conjugués suivante :



On désire que l'image finale $A'B'$ soit visible par un œil emmétrope qui n'accommode pas.

- 1) Préciser la position du point A' sur l'axe optique.
- 2) En déduire la mesure algébrique $\overline{F_{oc}A_4}$.

Le diaphragme L_C de rayon $R_C = A_4B_4$ est placé en A_4 comme indiqué sur le document annexe n°1.

- 3) Déterminer la position et la taille des conjugués A_3B_3 et A_2B_2 . Représenter A_3B_3 et A_2B_2 sur le document annexe n°1.
- 4) Le diaphragme L_C élimine le champ de contour. En déduire le diamètre du champ de pleine lumière en A_2 .
- 5) Compléter, sur le document annexe n°1, la marche du faisceau lumineux après le diaphragme L_D à travers la voie d'observation du pyromètre.

Partie III. Étude énergétique

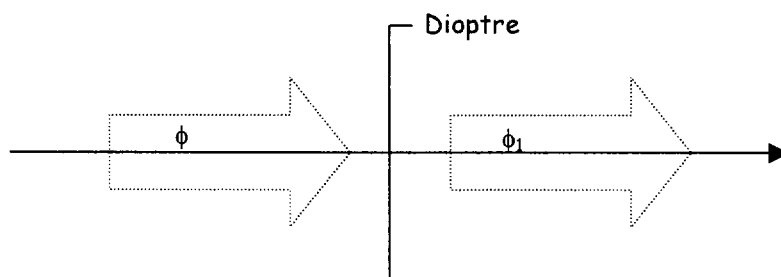
Dans cette partie, on s'intéresse à la voie de mesure du pyromètre.

Le flux énergétique reçu par le capteur permet la détermination de la température absolue T_a d'un bloc d'inox poli lors d'une phase de gravure par laser.

On admet que l'objectif se comporte comme une lentille mince biconvexe L_{ob} , et on ne tient pas compte de la lame semi-réfléchissante L_S .

Soit $T = 0,96$ le coefficient de transmission en énergie pour chaque dioptré de la lentille correspondant à l'objectif. Soit ϕ le flux lumineux d'entrée et ϕ_1 le flux sortant du premier dioptré (comme indiqué sur la figure suivante). Soit ϕ' le flux à la sortie du deuxième dioptré de l'objectif.

On appelle τ le coefficient de transmission de l'objectif : $\tau = \frac{\phi'}{\phi}$.



- 1) Exprimer ϕ_1 en fonction de T et ϕ .
- 2) Exprimer ϕ' en fonction de T et ϕ (on néglige les pertes d'énergie par réflexion et par absorption).
- 3) En déduire l'expression de τ en fonction de T puis sa valeur numérique.

Selon le schéma ci-dessous, l'objectif L_{ob} de centre optique O donne d'un objet réel centré au point A sur son axe optique une image réelle centrée en A' .

Un diaphragme est placé derrière l'objectif L_{ob} de sorte que la mesure algébrique $\overline{O_D A'}$ soit constante ($\overline{O_D A'} = 110$ mm).

Le matériau visé qui joue le rôle de l'objet réel est placé à 23,2 cm du centre optique O de la lentille.

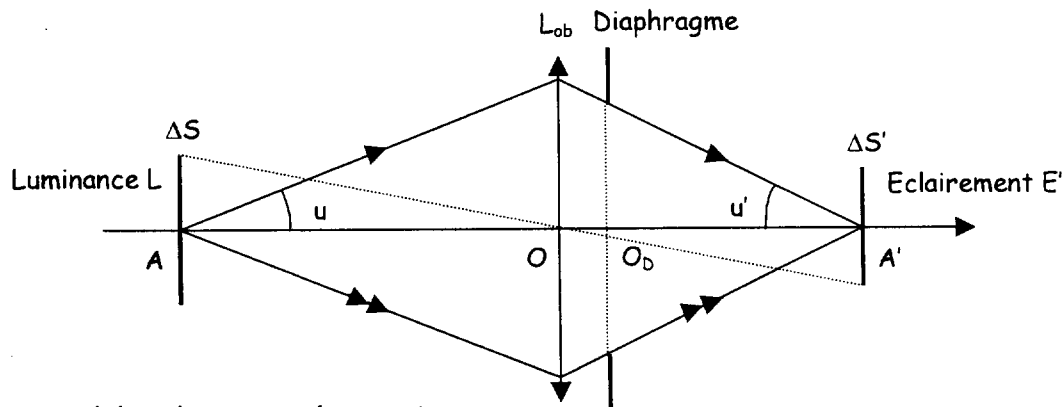


Schéma de principe (proportions non respectées)

Données :

- Vergence de la lentille L_{ob} : $V = 13,0 \delta$.
- Rayon du diaphragme $R = 15,0$ mm.
- Objet de forme carrée de surface ΔS (de côté a) et de luminance constante L .
- Image de forme carrée de surface $\Delta S'$ (de côté $a' = 1,0$ mm) et d'éclairement $E' = 1100 \text{ W.m}^{-2}$.
- Coefficient τ de transmission de la lentille L_{ob} : $\tau = \frac{\phi'}{\phi} = 0,92$.

On rappelle la relation $\phi = \tau.L.\Delta S.\sin^2 u$ et la relation d'Abbe : $n.a.\sin u = n'.a'.\sin u'$ (n et n' indices de réfraction des milieux d'entrée et de sortie).

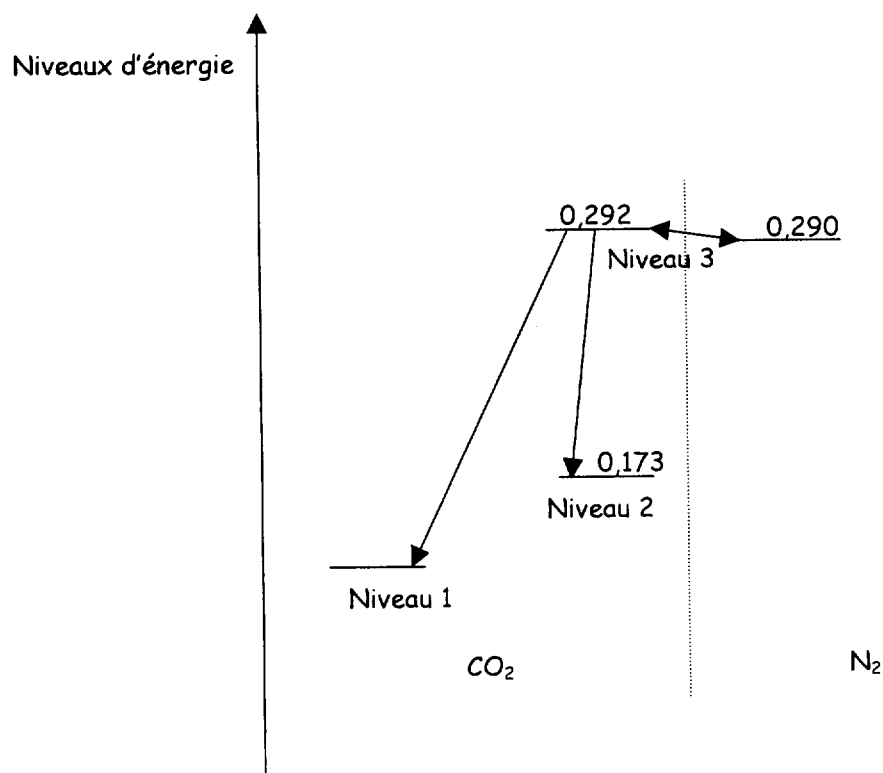
- 4) Calculer la position de l'image (on déterminera $\overline{OA'}$). En déduire la valeur de la surface ΔS de l'objet.
- 5) En déduire la valeur du flux ϕ' sortant du diaphragme.
- 6) Déterminer la luminance L de l'objet.
- 7) En déduire la température θ (en degré celsius) du matériau supposé lambertien au point A (prendre pour luminance $L = 20500 \text{ W. sr}^{-1}.\text{m}^{-2}$ et utiliser les données de l'annexe n°2).

B. OPTIQUE PHYSIQUE : ÉTUDE D'UN LASER (6 points)

Un laser CO₂ fournit en continu une puissance lumineuse moyenne de 200 W.

Le diagramme d'énergie simplifié ci-dessous montre deux transitions radiatives possibles.

Le mélange gazeux amplificateur est constitué de dioxyde de carbone (CO₂), de diazote (N₂) et d'hélium (He). Le niveau d'énergie 3 peut être peuplé, soit par collisions avec les électrons d'une décharge électrique, soit par collisions avec les molécules de diazote dans un état excité qui ont sensiblement la même énergie (0,290 eV). L'émission laser peut avoir lieu soit entre les niveaux 3 et 1 (transition 3-1), soit entre les niveaux 3 et 2 (transition 3-2).



Données numériques :

- Longueur d'onde correspondant à la transition 3-2 : $\lambda_{32} = 10,4 \mu\text{m}$.
- Longueur d'onde correspondant à la transition 3-1 : $\lambda_{31} = 9,4 \mu\text{m}$.
- Constante de Planck $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.
- Électron-volt : $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
- Célérité de la lumière dans le vide $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- 1) Déterminer la fréquence de l'onde correspondant à la transition 3-1.
- 2) En déduire l'énergie du photon associé (à exprimer en joule et en électron-volt).
- 3) Déterminer la valeur du niveau d'énergie 1.
- 4) Quel est le domaine spectral correspondant au rayonnement émis ? Justifier.

Le faisceau laser de structure gaussienne (mode TEM₀₀) est réglé sur la longueur d'onde $\lambda_{32} = 10,4 \mu\text{m}$. La lumière est confinée dans un volume comportant une zone de section minimale : le waist de rayon W_0 .

Le rayon $W(z)$ de la section transversale du faisceau gaussien varie avec la distance z de la section transversale au plan du waist selon la relation :

$$W(z) = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot \left[1 + \left(\frac{z}{z_R} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{exprimé en mètre})$$

$$z_R \text{ est la distance de Rayleigh : } z_R = \frac{\pi W_0^2}{\lambda_{32}}$$

5) Donner la valeur du rayon W_0 du waist.

Le faisceau est focalisé sur un matériau au moyen d'une lentille de distance focale image $f' = 1,0 \text{ cm}$ de sorte que le waist du faisceau soit dans son plan focal objet.

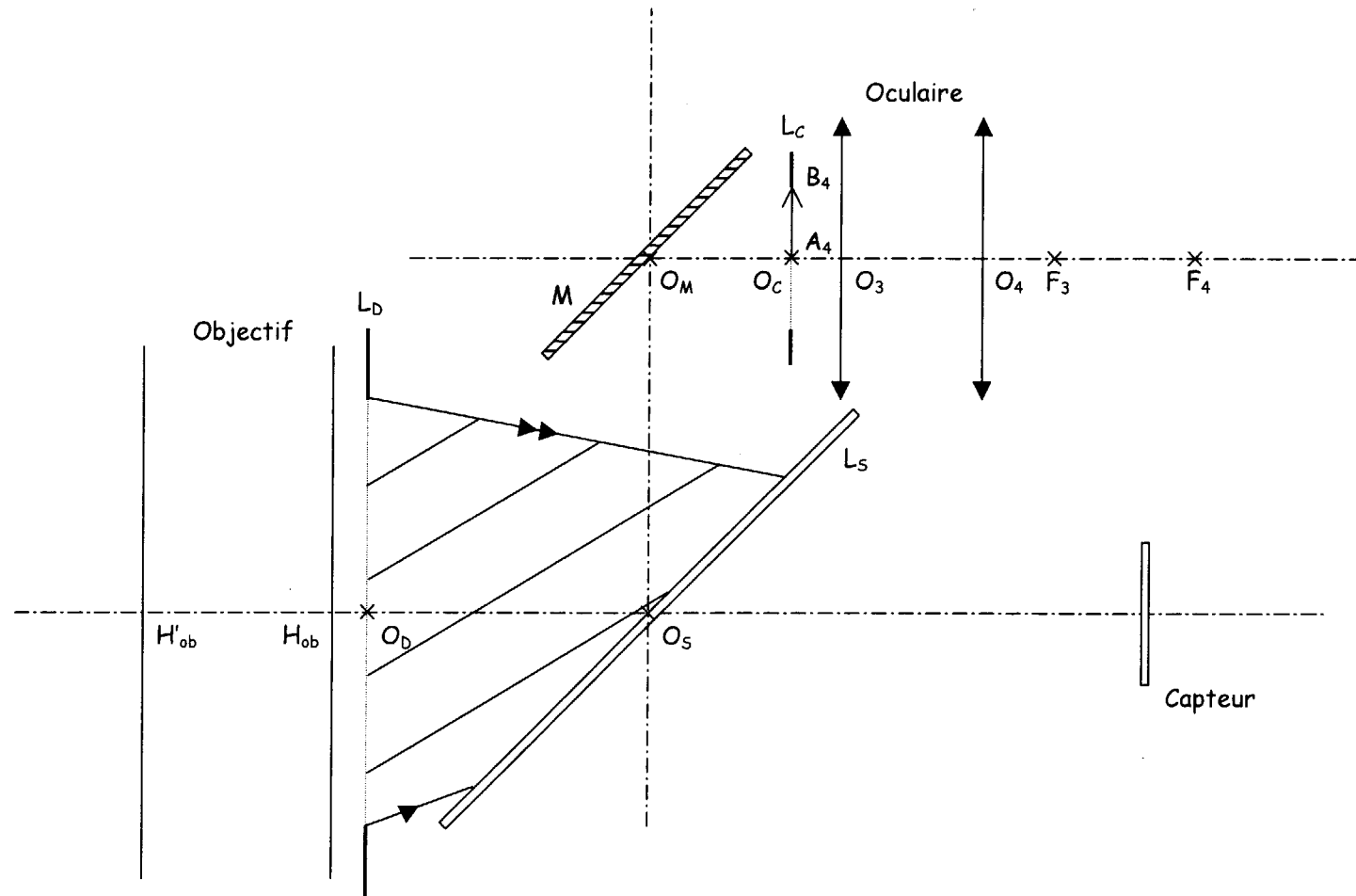
6) Déterminer le rayon W'_0 du nouveau waist à la sortie.

On rappelle la relation
$$W'_0 = W_0 \frac{f'}{\sqrt{FA^2 + z_R^2}}$$

avec W'_0 le rayon du waist image, F foyer objet de la lentille et A la position de l'objet waist.

En déduire l'éclairement moyen dans la tache de focalisation de forme supposée circulaire sur le matériau.

Echelle axiale 1
Echelle transversale 2



Document annexe n° 2

Pyromètre optique

Principales applications :

mesure de températures dans les fours (mesure à distance sans contact).

Pour une source lumineuse lambertienne, la luminance vérifie la relation :

$$L = \frac{1}{\pi} e \sigma T_a^4$$

avec $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$ la constante de Stefan, T_a la température absolue (en kelvin K) de la source et e son facteur d'émissivité.

La température absolue T_a est reliée à la température θ en degré celsius par :

$$T_a = \theta + 273,15$$

Facteurs d'émissivité de matériaux courants

Matériaux	Emissivité e
Aluminium poli	0,02
Aluminium oxydé	0,20
Noir de carbone	0,95
Or poli	0,02
Fer rouillé	0,65
Fer liquide	0,43
Argent poli	0,01
Inox poli	0,28
Inox roulé à froid	0,80
Zinc (galvanisé)	0,23
Brique rouge	0,93
Eau	0,67
Glace	0,98
Bois	0,91
Sable	0,76
Sol	0,38