

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

GENIE OPTIQUE

option OPTIQUE INSTRUMENTALE

Epreuve de PHYSIQUE APPLIQUEE

Sous-épreuve U42 PHYSIQUE

Durée 2 heures 30

coefficient 2,5

*Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte : 4 pages numérotées de 1/4 à 4/4.*

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

CALCULATRICE AUTORISÉE

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.

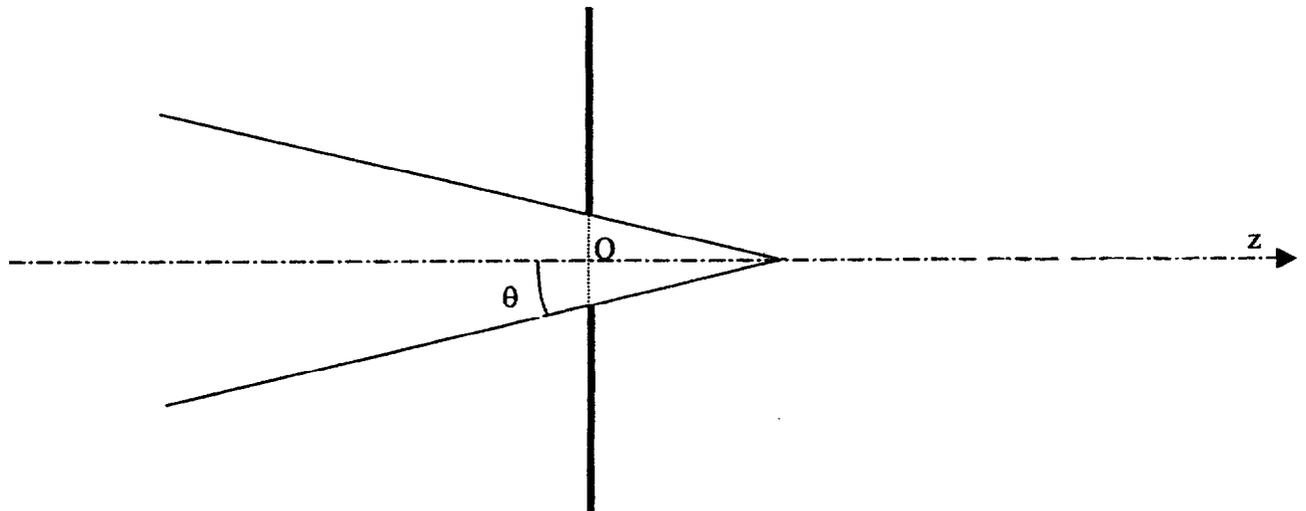
Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machines entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.

I. Etude d'un judas (13 points)

Un judas est une petite ouverture munie d'une lentille traversant une porte et permettant de voir de l'intérieur vers l'extérieur (définition donnée par le petit Robert).

1. Questions préliminaires.

1.1. La solution la plus simple pour observer à l'extérieur d'une porte est de pratiquer un trou circulaire dans la porte.



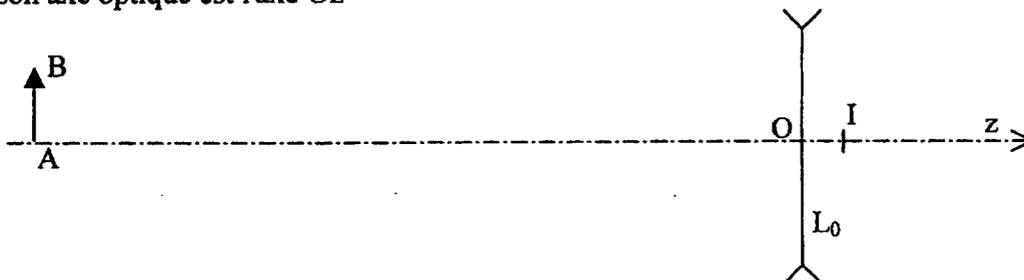
L'origine O de l'axe optique Oz est confondue avec le centre du trou et appartient au plan de la porte. Le diamètre du trou est $\Phi = 10 \text{ mm}$ et le centre du trou est à 160 cm du sol.

La position de l'œil sur l'axe optique est repérée par I, avec $\overline{OI} = 25 \text{ mm}$.

- 1.1.a. Quelle est la valeur de l'angle θ qui caractérise le demi-champ visible à l'œil nu ?
- 1.1.b. Une personne est à 50 cm de la porte, quelle doit-être la valeur minimale h_m de sa taille pour quelle soit partiellement visible pour l'œil placé en I ?

1.2. Utilisation d'une lentille mince divergente.

Pour augmenter le champ de vision, on place dans le trou une lentille mince divergente notée L_0 de vergence $C_0 = -1,00 \text{ } \delta$. Le centre optique de cette lentille est confondu avec le centre du trou, son axe optique est l'axe Oz



L'œil, toujours placé en I, observe à travers la lentille un objet AB.

1.2.a. Déterminer par le calcul les caractéristiques de l'image A'B' donnée de AB par la lentille (position $\overline{OA'}$ et dimension $\overline{A'B'}$)

$$\text{Données : } \overline{OA} = -50,0 \text{ cm}, \quad \overline{AB} = 10,0 \text{ cm}$$

1.2.b. Calculer l'angle α' sous lequel l'œil voit l'image A'B'.

1.2.c. Calculer l'angle α sous lequel l'œil verrait l'objet en l'absence de lentille.

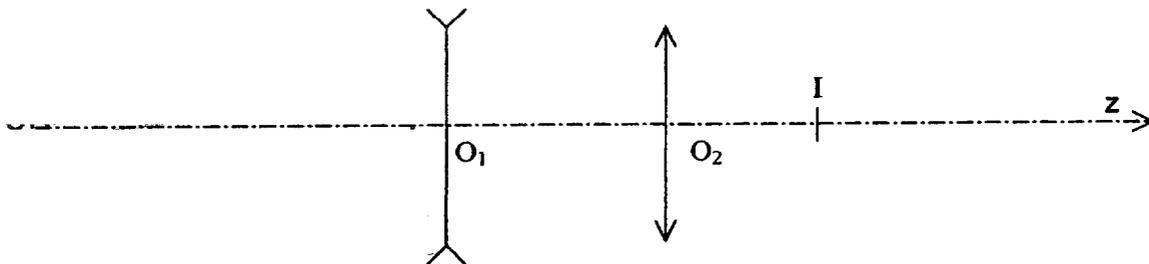
1.2.d. Calculer le grossissement du système optique que constitue la lentille.

1.3. Étude du système optique réel.

Le judas est en fait constitué de l'association d'une lentille convergente et d'une lentille divergente. Ces deux lentilles sont supposées minces. La vergence C du système complet a pour valeur $C = -1,00 \delta$.

La vergence de la lentille L_1 est $C_1 = -20,0 \delta$. La vergence de L_2 est C_2 . Les centres optiques de ces lentilles sont notés O_1 et O_2 , leur distance est donc $\overline{O_1O_2} = e = 30 \text{ mm}$.

L'œil, toujours placé en I, est situé à 25 mm derrière O_2 . On a donc $\overline{O_2I} = 25 \text{ mm}$.



1.3.a. Calculer la valeur de la vergence C_2 .

1.3.b. Déterminer les positions de H et H' points principaux de ce système. On donnera les valeurs de $\overline{O_1H}$ et de $\overline{O_2H'}$.

1.3.c. On place un objet de très petite taille au point A de l'axe optique repéré par $\overline{O_1A} = -50 \text{ cm}$. L'image, donnée par le système optique réel, de l'objet placé en A se forme en A'. Déterminer sa position en calculant la valeur de $\overline{HA'}$, puis celle de $\overline{IA'}$

1.4. Détermination du champ du système optique.

On utilise le système de deux lentilles défini au 1.3.

Les diamètres Φ_1 et Φ_2 des lentilles sont égaux à celui Φ du trou percé dans la porte soit 10 mm.

On utilisera les valeurs : $f_1' = -50 \text{ mm}$, $f_2' = 84,2 \text{ mm}$ et $\overline{O_1O_2} = e = 30 \text{ mm}$.

1.4.a. L'œil observe un objet AB dont la position est donnée par $\overline{O_1A} = -50 \text{ cm}$. Dans cette situation, quel élément est diaphragme d'ouverture ?

1.4.b. Déterminer les positions et dimensions de la pupille d'entrée et de la lucarne d'entrée.

1.4.c. Déterminer les dimensions du champ total objet. On illustrera le raisonnement par un schéma.

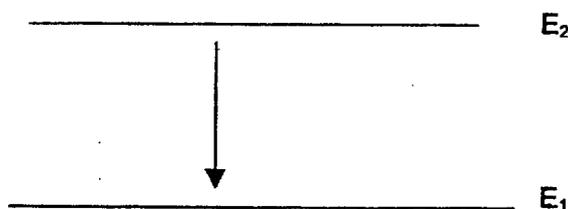
1.4.d. Déterminer la taille minimale h'_m que doit avoir une personne pour être partiellement visible. Comparer le résultat obtenu à celui trouvé au 1.1.b. ; conclure.

II. Quelques propriétés d'un laser (7 points)

On utilise couramment au laboratoire d'optique, des lampes à vapeur de sodium de longueur d'onde moyenne $\lambda_{\text{Na}} = 589,3 \text{ nm}$ et des lasers continus Hélium-Néon (He-Ne) de longueur d'onde $\lambda_{\text{He-Ne}} = 632,8 \text{ nm}$. Pour la lampe à vapeur de sodium le mécanisme d'émission de la lumière est appelé émission spontanée. Dans le cas du laser on parle d'émission stimulée.

1. Lumière émise.

- 1.1. Citer trois caractéristiques différenciant l'émission stimulée de l'émission spontanée.
- 1.2. La puissance lumineuse émise par un laser de puissance $0,5 \text{ mW}$ est inférieure à celle d'une lampe à vapeur de Na classique. Pourquoi est-il dangereux d'observer directement un laser, alors que ce n'est pas le cas pour une lampe à vapeur de sodium ?
- 1.3. Calculer la fréquence ν_0 du laser Hélium-Néon.
- 1.4. L'émission stimulée d'un photon de longueur d'onde $\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$ est liée au passage du système du niveau d'énergie E_1 au niveau de plus faible énergie E_2 . La différence d'énergie est $\Delta E = E_2 - E_1$.



Calculer ΔE , en joules (J), puis en électron-volts (eV).

On donne:

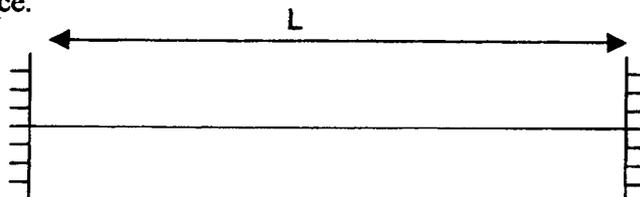
$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

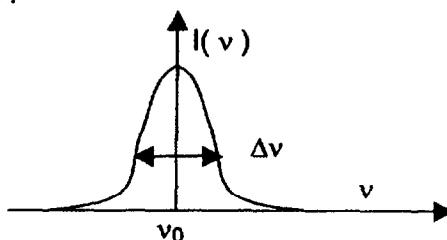
2. Cavité résonante.

De manière, très simplifiée, la cavité du laser est constituée de deux miroirs plans, distants de L , se faisant face.



- 2.1. Ecrire, pour cette cavité, la condition de résonance. Pour cela, On exprimera L en fonction de λ .

2.2. On appelle ν_0 , la fréquence d'émission du laser. L'intensité $I(\nu)$ de la raie d'émission possède un profil de la forme :



Donner deux raisons justifiant que l'on n'ait pas $\Delta\nu = 0$.

3. Le faisceau lumineux

Le laser utilisé possède les caractéristiques suivantes :

$$\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}, w_0 = 0,6 \text{ mm}.$$

On rappelle les relations suivantes :

$$Z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$$

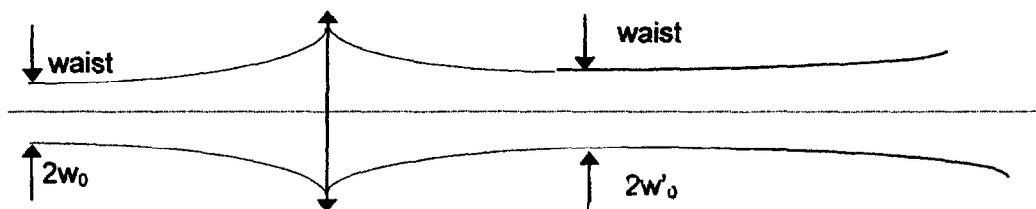
$$\theta = \frac{\lambda}{\pi w}$$

$$w'_0 = w_0 \frac{f'}{\sqrt{\sigma^2 + Z_R^2}}$$

$$\sigma' = \frac{f'^2 \sigma}{\sigma^2 + Z_{RA}^2}$$

Z_{RA} , distance de Rayleigh du faisceau incident.
 f' : distance focale image de la lentille.
 w'_0 , waist image.
 $\sigma = \overline{FA}$, A position du waist objet, F foyer objet de la lentille.
 $\sigma' = \overline{F'A'}$, A' position du waist image, F' foyer image de la lentille.

- 3.1. Calculer le demi-angle d'ouverture du faisceau et la distance de Rayleigh Z_R du laser.
- 3.2. Un centimètre après le waist objet, le diamètre du faisceau a toujours pour valeur $2w_0$. Justifier cette affirmation.
- 3.3. On focalise le faisceau précédent à l'aide d'une lentille de distance focale image $f' = 10$ mm. Le waist objet est situé au foyer objet de la lentille.



Où se trouve le waist image ?

Calculer la valeur du waist image w'_0 et la divergence du faisceau après le waist image.

Barème sur 20

I. Étude d'un judas (13 points)

1.1.	$\theta = 0,2 \text{ rad } (11^\circ)$ $h_m = 1,50 \text{ m}$	1
1.2.	L'image, de dimension 6,7 cm, se trouve 33,3 cm avant la lentille. $a' \approx 0.19 \text{ rad}$, $a \approx 0,19 \text{ rad}$, $G \approx 1$	1 1,5
1.3.	La relation $C = C_1 + C_2 - e C_1 C_2$ conduit à $C_2 = 11,9 \delta$. $\overline{O_1 H} = e C_2 / C = -356 \text{ mm}$ et de $\overline{O_2 H'} = -e C_1 / C = -600 \text{ mm}$ $\overline{HA'} = -126 \text{ mm}$, $\overline{IA'} = -751 \text{ mm}$	0,5 1 1
1.4.a.	Si Δ est le conjugué objet de O_2 , $O_1 \Delta = 19 \text{ mm}$. Le diamètre Φ_Δ du conjugué objet du diaphragme de L_2 a pour valeur 63 mm. Le diaphragme d'ouverture est celui de L_2 . ($\Phi_\Delta < \Phi_1$ et Δ entre O_1 et O_2).	0,5 0,5 1
1.4.b.	La position de la pupille d'entrée est donnée $A\Delta = 519 \text{ mm}$. Son diamètre est Φ_Δ a pour valeur 63 mm. La position de la lentille L_1 est donnée $\overline{AO_1} = 500 \text{ mm}$. Le diamètre ϕ_1 de son diaphragme a pour valeur 100 mm. La lucarne d'entrée est donc le diaphragme de la lentille L_1 .	0,5 1
1.4.c.	Schéma Le champ total objet a pour rayon 22 cm.	1,5 1,5
1.4.d.	La taille minimale que doit avoir une personne pour être partiellement visible est : $h'_m = 1,38 \text{ m}$. Cette valeur, plus faible que celle trouvée au 1.1.b, met en évidence l'intérêt du dispositif utilisé.	0,5

II Quelques propriétés d'un laser (7 points)

1.1.	Comparaison en termes de monochromaticité, directivité, cohérence(s).	1
1.2.	Pour un laser, l'énergie émise est concentrée dans une direction privilégiée.	0,5
1.3.	$\nu_0 = 4,74 \times 10^{14} \text{ Hz}$	1
1.4.	$\Delta E = h \nu = 3,14 \times 10^{-19} \text{ J} = 1,96 \text{ eV}$	
2.1.	$L = p \lambda / 2$ p étant entier.	0,5
2.2.	Largeur naturelles des raies, effet doppler du à l'agitation thermique	1
3.1.	$\theta = 3,4 \times 10^{-4} \text{ rad}$ $Z_R = 1,8 \text{ m}$	1
3.2.	Un longueur d'un centimètre est très faible par rapport à celle de Rayleigh.	0,5
3.3.	$\sigma = 0$ d'où $\sigma' = 0,32 \text{ mm}$ $w'_0 = 3,3 \times 10^{-3} \text{ mm}$ $\theta' = 0,6 \text{ rad}$	1,5