

DS de physique n°1

Durée : 3h

L'usage de la calculatrice est autorisé. La copie doit être propre, lisible, sans faute d'orthographe. Les pages doivent être numérotées et **les résultats soulignés ou encadrés**. Un résultat donné sans justification, à moins que l'énoncé le précise, est considéré comme faux. Les valeurs numériques doivent être accompagnées de leur unité. Le devoir comporte 3 exercices indépendants.

Avant d'écrire parcourez d'abord rapidement l'ensemble du sujet. Vous n'êtes pas obligés de traiter les exercices dans l'ordre du sujet, mais évitez dans votre copie de faire des aller-retours entre les exercices. Vous pouvez par exemple changer de feuille (ou sauter une page) si vous changez d'exercice avant d'avoir fini le précédent, au cas où vous y reviendriez plus tard. Si vous bloquez à une question, laissez-la de côté et passez à la suivante, quitte à y revenir plus tard si vous avez le temps.

Le sujet est long et il est tout à fait normal que vous n'ayez pas le temps de traiter toutes les questions (d'où l'importance de lire tout le sujet pour traiter en priorité celles qui vous paraissent les plus faciles). N'oubliez pas les unités dans vos applications numériques et encadrez tous vos résultats (je me répète car c'est TRES important).

Respirez un bon coup et c'est parti, bon courage !

Exercice 1 : Autour des systèmes d'unités

Le système international d'unités (SI) est le système d'unités officiel à l'heure actuelle.

1. Énoncer les sept unités de base du SI.
2. Donner l'unité SI de pression, d'énergie, de puissance, de force, de résistance électrique, de charge électrique, d'angle plan.
3. Relier l'unité SI de force au kilogramme, au mètre et à la seconde.

Plusieurs systèmes d'unités officiels ont précédé le SI. L'un d'entre eux est le système CGS, dont les unités de longueur, de masse et de temps sont respectivement le centimètre, le gramme et la seconde. L'unité de force du système CGS est la *dyne* (symbole : dyn).

4. Exprimer le facteur de conversion entre la dyne et l'unité SI de force ($1 \text{ dyn} = \dots \text{USI}$).

Pour établir des unités universelles de temps, de longueur et de masse, Max PLANCK proposa de s'appuyer sur des constantes fondamentales de la physique : la célérité de la lumière dans le vide c , la constante de Planck réduite $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ et la constante de gravitation G .

Pour les applications numériques, on prendra $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ USI}$ et $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ USI}$.

5. Exprimer la dimension de $\hbar$ et celle de G en fonction de M, L et T, dimensions d'une masse, d'une longueur et d'un temps.

Indication : On rappelle la loi de Planck-Einstein qui relie l'énergie E d'un photon à sa fréquence ν : $E = h\nu$.

6. Montrer, en vous appuyant sur une analyse dimensionnelle, qu'à l'aide d'une loi de puissance du type $\hbar^\alpha c^\beta G^\gamma$ on peut construire un temps T_P . Ce temps s'appelle le temps de Planck.

7. On peut construire facilement la longueur de Planck L_P à partir de T_P et c . Donner l'expression littérale de L_P .

8. Proposer une formule pour la masse de Planck M_P .

9. Déterminer numériquement T_P , M_P et L_P .

Malgré leur caractère universel ces unités ne se sont pas imposées. À votre avis pour quelle raison ?

Exercice 2 : Appareil photographique d'un smartphone

On modélise l'appareil photographique d'un téléphone portable par une lentille convergente associée à un capteur photosensible.

Données :

Appareil photographique d'un téléphone portable :

Résolution du capteur	4000×3000 pixels
Nombre d'ouverture	$N = 2,2$
Diagonale du capteur	1/3 de pouce
Indice de réfraction de l'air	$n_{\text{air}} = 1,0$
Indice de réfraction de la lentille	$n = 1,52$
Rayon de courbure de la lentille	$R = 4,0$ mm
Diamètre réel de la lentille	$\Phi = 5,0$ mm
Distance focale effective de la lentille	$f' = 9,0$ mm

Conversion d'unités : 1 pouce = 25,4 mm.

Trigonométrie : $\forall \alpha : \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1$ et $\tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \frac{1}{\tan \alpha}$.

La lentille de forme plan-convexe est constituée de silice fondue associée à du quartz. On peut la modéliser dans un premier temps comme une lentille demi-boule de rayon de courbure R et d'indice de réfraction n , plongée dans l'air dont l'indice de réfraction est pris égal à 1. Un faisceau lumineux cylindrique, de rayon $r_m < R$, arrive sous incidence normale sur la face plane de cette lentille.

On note C l'intersection de la face plane de la demi-boule avec l'axe optique ; c'est également le centre du dioptre sphérique de sortie. On s'intéresse au rayon lumineux incident qui arrive parallèle à l'axe optique et à une distance r de cet axe. La marche de ce rayon est représentée sur la figure 1. On note i l'angle d'incidence en I au niveau du dioptre sphérique, t l'angle de réfraction et H le projeté orthogonal de I sur l'axe optique.

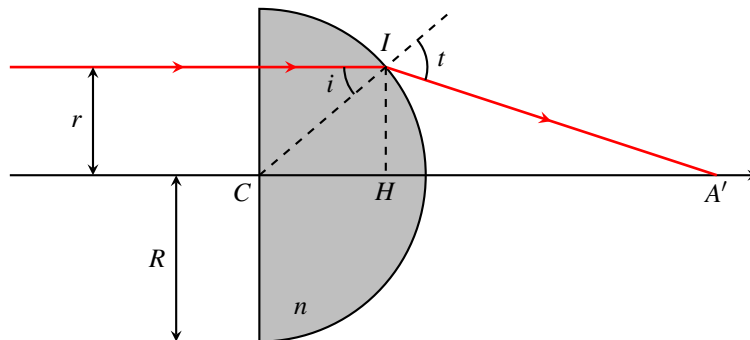


Figure 1 : Modèle de la lentille demi-boule et marche d'un rayon incident parallèle à l'axe optique

Position du foyer principal image F'

1. Expliquer ce qu'est un milieu *homogène*, *transparent* et *isotrope*.
2. Énoncer la loi de la réfraction en I .
3. Justifier sans calcul la manière dont le rayon lumineux est dévié par le dioptre plan puis par le dioptre sphérique.
4. Justifier qu'il existe une distance r_0 au-delà de laquelle un rayon qui entre dans la lentille subit une réflexion totale sur le dioptre sphérique. Exprimer r_0 en fonction de R et n . Déterminer numériquement r_0 . En pratique le constructeur a choisi un diamètre de la lentille $\Phi = 5,0$ mm. Justifier ce choix.
5. Exprimer la distance CH en fonction de R et i .

6. On note A' la position de l'intersection avec l'axe optique du rayon émergent de la lentille. Montrer que la distance algébrique $\overline{CA'}$ vérifie :

$$\overline{CA'} = R \cos i \left(1 + \frac{\tan i}{\tan(t-i)} \right)$$

Justifier que A' n'est pas un point conjugué, au sens du stigmatisme rigoureux, avec un objet ponctuel à l'infini sur l'axe optique.

7. Expliquer ce que sont les conditions de Gauss en optique. Quel intérêt y a-t-il à éclairer la lentille dans ces conditions ?

8. Dans les question suivantes, on suppose l'on se place dans les conditions de Gauss et on note F' le conjugué d'un objet ponctuel à l'infini sur l'axe optique, appelé *foyer principal image* de la lentille. Déterminer $\overline{CF'}$ en fonction de R et n . On effectuera les approximations suivantes pour les petits angles : $\sin \alpha \simeq \tan \alpha \simeq \alpha$ et $\cos \alpha \simeq 1$. Déterminer numériquement $\overline{CF'}$.

Aberrations géométriques

Les rayons incidents trop éloignés de l'axe optique ne convergent pas en F' en émergeant de la lentille. On parle d'*aberration sphérique*, que l'on va chercher à quantifier. Un capteur de lumière est placé dans le plan transverse passant par F' (figure 2). On s'intéresse à un rayon lumineux qui arrive parallèle à l'axe optique à la distance $r = r_0$ de l'axe (question 4).

9. Déterminer littéralement et numériquement la distance TSA (*transversal spherical aberration*) entre F' et le point où ce rayon extrême rencontre le capteur.

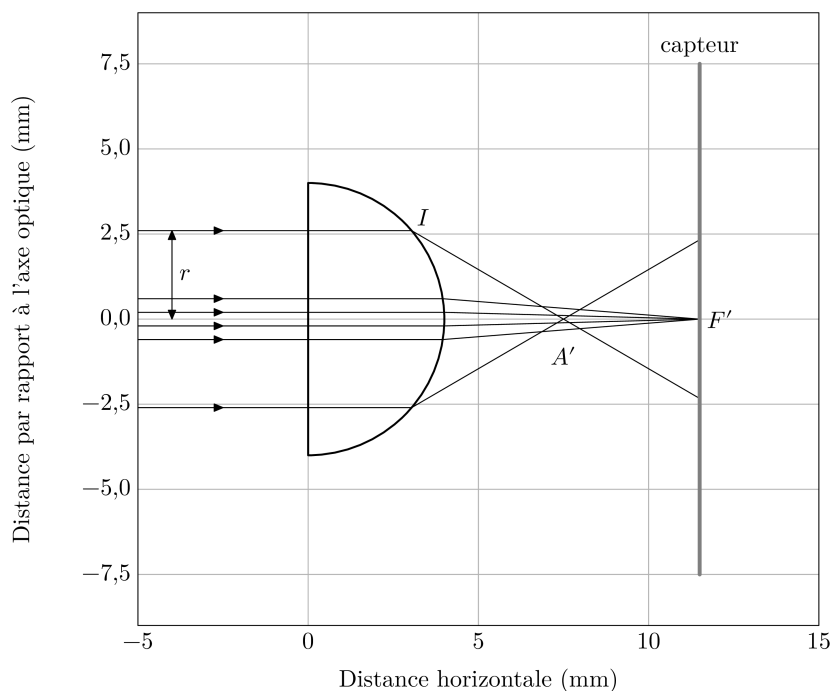


Figure 2 : Aberration sphérique

Aberrations chromatiques

10. L'indice de réfraction du verre dépend de la longueur d'onde λ suivant la loi de Cauchy : $n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$, où A et B sont deux constantes positives.

Comment appelle-t-on un milieu dont l'indice dépend de λ ? Qu'observe-t-on si la lentille est éclairée en lumière blanche ? Le verre est-il plus réfringent (indice élevé) dans le rouge ou bien le violet ? Justifier.

11. On note F'_v et F'_r les foyers principaux de la lentille, respectivement pour une radiation violette et rouge. Lequel de ces deux points est le plus près de la lentille ? Justifier qualitativement.

Influence de la diffraction

12. Le capteur est un rectangle, au format 4/3 (la longueur L et la largeur ℓ du capteur sont dans un rapport $L/\ell = 4/3$). La diagonale mesure $D = 1/3$ pouce. Calculer L et ℓ .

13. Le capteur est constitué de pixels carrés. Déterminer numériquement leur taille δ .

Le nombre d'ouverture N de l'appareil photographique est défini par $N = f'/D$, où D est le diamètre du diaphragme d'ouverture et f' la distance focale de l'objectif. On admet que la tâche centrale de diffraction qui se forme sur le capteur éclairé par un point source situé à l'infini sur l'axe optique vaut $r = 1,22\lambda N$.

14. Proposer, en le justifiant, un ordre de grandeur pour la longueur d'onde puis estimer le rayon de la tâche de diffraction.

15. Proposer une justification au choix de l'entreprise de configurer par défaut la prise d'image en full HD (1920×1080 pixels) au lieu de la résolution 4K (3840×2160 pixels).

Mesure de la distance focale d'une lentille

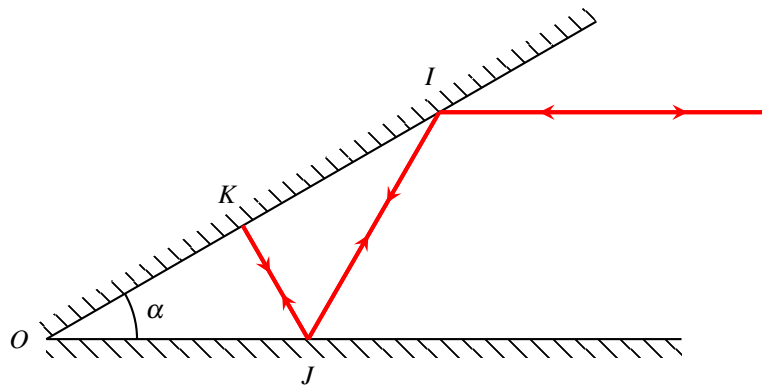
En salle de TP, plusieurs binômes mesurent à tour de rôle la distance focale d'une même lentille. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

n°	1	2	3	4	5	6
f'_{mes} (en cm)	24,5	23,8	24,5	24,9	25,2	24,7

16. Déterminer la valeur moyenne $\overline{f'_{\text{mes}}}$ et son incertitude-type $u(\overline{f'_{\text{mes}}})$.

17. Le fabricant affirme que la lentille a une distance focale $f'_{\text{fab}} = 25,0$ cm avec une tolérance de 2%. Est-ce compatible avec le résultat expérimental ? Justifier.

Exercice 3 : Miroirs formant un coin



Un système optique est constitué de deux miroirs plans formant un coin d'angle α . Un rayon lumineux arrive sur ce système parallèlement à l'un des miroirs. Après trois réflexions successives en I , J puis K , le rayon émerge du système en suivant exactement le même chemin, en sens inverse.

Calculer α .