

Devoir surveillé de physique n°2

(Durée : 4 heures)

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Le sujet comporte 7 pages, et est composé de cinq parties indépendantes.

L'utilisation des calculatrices est autorisée pour cette épreuve.

AVERTISSEMENT

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 de leurs calculs.

★ ★ ★

Données

▷ Relations de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$; $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

▷ Relations de conjugaison de Newton : $\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = -f'^2$; $\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{FO}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}}$

▷ Distance Terre-Lune : $d_{TL} = 3,8 \cdot 10^5$ km.

▷ Diamètre de la Lune : $d_L = 3,5 \cdot 10^3$ km.

▷ Limite de résolution de l'oeil : $\alpha_{min} = 3 \cdot 10^{-4}$ rad

Première partie : Microscopie optique

D'après Banque PT 2017

Le microscope est modélisé sur la figure 1, par un système de deux lentilles minces convergentes, l'une constituant l'objectif (lentille L_1 de centre O_1 et de distance focale image $f'_1 = 5$ mm), et l'autre constituant l'oculaire (lentille L_2 de centre O_2 et de distance focale image $f'_2 = 15$ mm). On fixe $\overline{O_1O_2} = D_0 = 120$ mm. On choisit le sens positif dans le sens de propagation de la lumière.

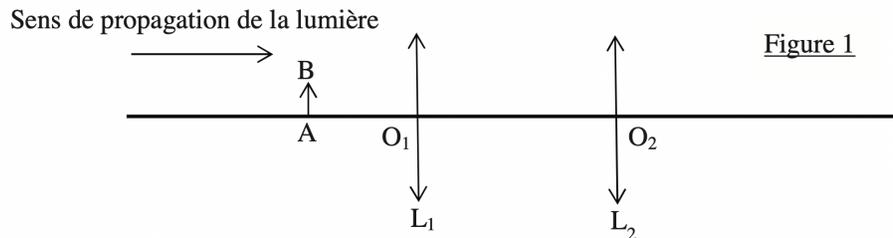


Figure 1: Modélisation du microscope optique

1. Les relations précédentes sont valables à condition que les rayons lumineux satisfassent les conditions de Gauss. Donner ces 2 conditions.
2. Si F'_1 est le foyer image de L_1 et F_2 le foyer objet de L_2 , on définit l'intervalle optique par la grandeur algébrique $\Delta = \overline{F'_1F_2}$. Exprimer Δ en fonction de f'_1 , f'_2 , D_0 , puis calculer sa valeur.

Un objet réel AB perpendiculaire à l'axe optique est éclairé et placé à une distance d de L_1 , à sa gauche, de façon à ce que l'image $A'B'$ donnée par l'objectif, appelée image intermédiaire se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire. L'observation se fait à l'œil placé au contact de l'oculaire.

3. Exprimer d en fonction de f'_1 et Δ , puis calculer sa valeur.
4. Exprimer le grandissement γ_1 induit par l'objectif en fonction de f'_1 et Δ , puis calculer sa valeur.
5. Quel est l'intérêt pour l'observateur de cette position de l'objet ?
6. Faire une construction géométrique faisant apparaître l'objet, l'image intermédiaire, ainsi que l'angle α' sous lequel est observée l'image finale à travers le microscope.

Le grossissement commercial du microscope est défini par $G = \left| \frac{\alpha'}{\alpha} \right|$ où α est l'angle sous lequel serait vu l'objet à l'œil nu placé à une distance $D = 250$ mm. L'objet étant de très petite taille, ces deux angles seront bien sûr très faibles.

7. Exprimer G en fonction de Δ , D , f'_1 et f'_2 , puis calculer sa valeur.

On utilise ce microscope pour mesurer l'épaisseur e d'une mince lame de verre à faces parallèles, d'indice $n = 1.5$. On colle une petite pastille bleue (B) sur la face gauche de la lame et une petite pastille rouge (R) sur sa face droite. On positionne d'abord la lunette (ensemble objectif + oculaire) du microscope de façon à faire la mise au point sur la pastille rouge (Figure 2, Position 1). Puis, grâce à une vis micrométrique, on translate la lunette d'une distance ϵ , de façon à faire la mise au point sur l'image de la pastille bleue (Figure 2, Position 2). On mesure alors $\epsilon = 420$ μm .

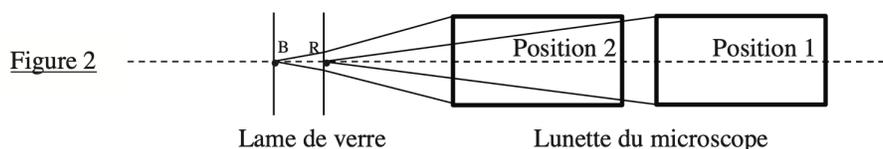


Figure 2: Principe de mesure de l'épaisseur d'une lame de verre

- En tenant compte du phénomène de réfraction et en considérant les rayons lumineux très peu inclinés par rapport à l'axe optique, exprimer e en fonction de n et ϵ , puis calculer sa valeur.

Deuxième partie : L'appareil photographique

Inspiré de CCINP filière MP, 2021

II.A - Principe de l'appareil

Le modèle simple de l'appareil photographique avec lequel nous travaillerons est décrit sur le schéma ci-dessous.

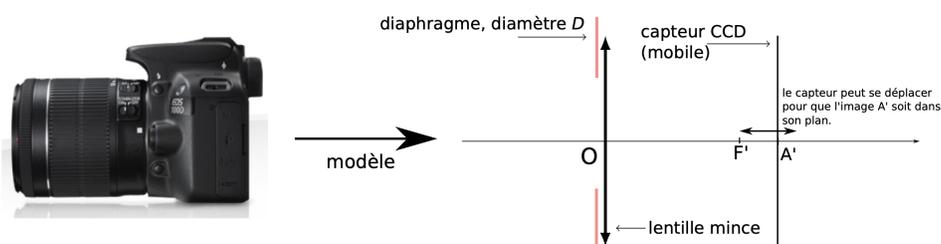


Figure 3: Modélisation simple de l'appareil photo

Dans un premier temps, on désire photographier le tableau de La Joconde situé à $d = 3,0\text{m}$ en avant de l'objectif. L'objectif, modélisé par une lentille mince convergente, a pour focale $f' = 50\text{ mm}$.

- Faire une construction géométrique pour obtenir l'image $A'B'$ de l'objet AB . La mise au point est telle que l'image est nette sur le capteur.
- Exprimer la distance $\overline{OA'}$ à laquelle il faut placer le capteur CCD pour obtenir une image nette de la toile en fonction de d et de f' .
- On définit le tirage de l'appareil photo par la distance $\tau = \overline{F'A'}$. Que vaut cette distance dans le cas présent (on attend une application numérique) ?
- La toile a pour dimensions $77\text{cm} \times 53\text{cm}$. Sachant que le capteur a un format 24×36 (24 mm de hauteur et 36 mm de largeur), pourra-t-on voir la Joconde entièrement ? Si oui, quelle sera la taille de l'image sur le capteur ?

Cet appareil photographique est désormais utilisé pour photographier le ciel nocturne.

- Où doit-on placer le capteur pour que les étoiles apparaissent nettes ?

On s'intéresse plus particulièrement à la Lune. Elle est supposée sphérique, sa distance à la Terre ainsi que son diamètre sont rappelés dans les données de ce devoir. On définit α comme l'angle sous lequel on voit la Lune depuis la Terre, comme sur la figure 4.

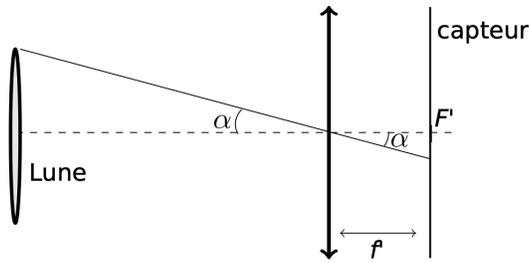


Figure 4: Définition de l'angle α

14. Calculer, en degré, puis en minute d'arc ($1^\circ = 60'$), la valeur de α .
15. Avec cet appareil, on photographie la pleine Lune, l'axe optique de l'objectif étant dirigé vers le centre du disque lunaire. Quel est le diamètre de l'image de la Lune sur le capteur ?
16. On effectue un tirage sur du papier de format $10 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$. Quel est le diamètre d_p du disque lunaire sur le papier ? Commenter.

II.B - Téléobjectif

Afin d'obtenir une image de meilleure qualité, le photographe se munit d'un téléobjectif, qui remplace l'objectif précédent. Ce système est réalisé en associant deux lentilles distantes de e : une lentille convergente L_1 de centre optique O_1 et de focale f'_1 et une lentille divergente L_2 de centre O_2 et de focale f'_2 . On prendra pour les applications numériques : $f'_1 = 50 \text{ mm}$, $f'_2 = -50 \text{ mm}$ et $e = \overline{O_1O_2} = 31 \text{ mm}$.

17. Faire un schéma optique du dispositif en respectant l'échelle. On fera apparaître les deux lentilles, les points O_1 , O_2 , F'_1 et F'_2 .

On considère un objet AB à l'infini. A est sur l'axe optique. Les rayons provenant de B arrivent avec un angle α par rapport à l'axe optique. On note A_1B_1 l'image de AB par la lentille L_1 .

18. Avec quel autre point le point A_1 est-il confondu? Et dans quel plan est le point B_1 ?
19. À l'aide du schéma précédent, exprimer la distance O_2A_1 en fonction de f'_1 et de e .

• Étude du grandissement

On note $A'B'$ l'image de A_1B_1 par la seconde lentille. La position du capteur est telle que cette image est située sur le capteur.

20. À partir des deux questions précédentes, et en utilisant la relation de conjugaison appliquée à la seconde lentille, déduire la distance $p' = \overline{O_2A'}$ entre la lentille L_2 et le capteur en fonction de f'_1 , f'_2 et e . Faire l'application numérique.
21. Le faisceau de rayons arrivant de B fait un angle $\alpha = 4,5 \times 10^{-3} \text{ rad}$ avec l'axe optique. Quelle est l'expression et la valeur de la taille de l'objet A_1B_1 ?
22. Exprimer le grandissement transversal γ_2 de la lentille 2 en fonction de p' , f'_1 et e .
23. En déduire l'expression de r , le rayon de l'image de la Lune sur le capteur en fonction de f'_1 , e , p' et α . Faire l'application numérique. Par combien ce diamètre a-t-il été multiplié par rapport au cas précédent sans téléobjectif ?

• Constructions géométriques

Les deux questions qui suivent peuvent être traitées indépendamment du reste.

24. On considère d'abord la lentille L_1 seule. Construire l'image A_1B_1 de AB par cette lentille. On fera un schéma à l'échelle.
25. Faire ensuite, sur un second schéma, la construction de l'image $A'B'$ de A_1B_1 par la lentille L_2 .

Troisième partie : Mesure de l'indice d'un prisme

Inspiré de Banque PT 2010

On réalise la dispersion de la lumière au moyen d'un prisme en verre, d'angle A entre ses deux faces utiles, et d'indice de réfraction n pour une longueur d'onde donnée. Le milieu extérieur est l'air, d'indice pris égal à 1.

Soit un rayon parvenant au point I sur la face d'entrée avec un angle d'incidence i : il émerge par la face de sortie en un point J avec un angle i' . On note D l'angle mesurant la déviation entre le rayon incident et le rayon émergent.

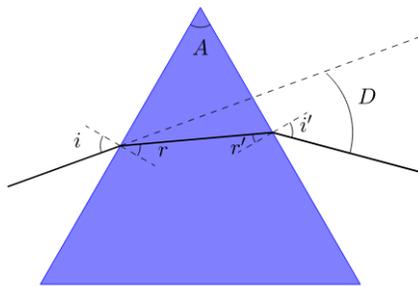


Figure 5: Schéma de principe du prisme

26. Placer les points I et J sur le schéma de principe figure 1, et appliquer la loi de Snell-Descartes en ces points. Établir également les deux relations géométriques suivantes : $A = r + r'$ et $D = i + i' - A$. (Ces quatre relations sont les *formules du prisme*).
27. Montrer que l'existence du rayon émergent en J dépend d'une condition sur r' , puis en déduire une condition sur i .
28. Montrer que l'existence d'un rayon émergent impose aussi une condition sur A .
29. Pour un prisme en verre *flint* d'indice $n = 1.74$, vérifier que l'angle usuel $A = 60^\circ$ convient. Déterminer alors numériquement l'encadrement de i .
30. On constate expérimentalement que, lorsqu'on fait varier i de 0° à 90° en tournant le prisme, la déviation passe par un minimum unique D_m .
 - (a) Justifier sans calcul que ce minimum correspond nécessairement à $i = i'$.
 - (b) Exprimer alors D_m en fonction de i et A , puis en déduire l'indice n en fonction de D_m et A .
31. La figure 6 donne la variation de l'angle D en fonction de l'angle d'incidence i . Repérer le minimum de déviation D_m sur le graphique et en déduire une valeur numérique de l'indice n du prisme.

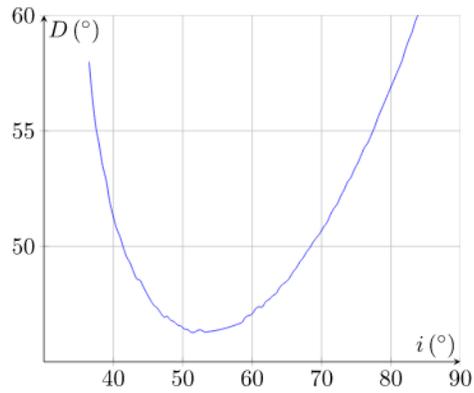
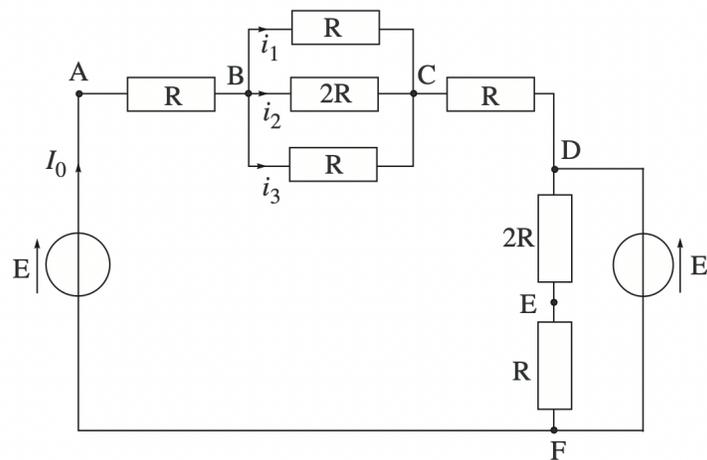


Figure 6: Variation de l'angle D en fonction de l'angle d'incidence i

Quatrième partie : Circuit linéaire

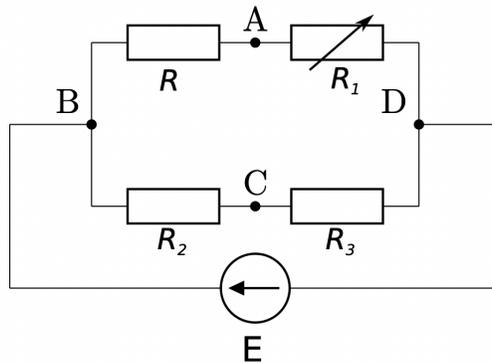
On donne pour cette partie : $R = 1\Omega$, $E = 5V$ et $E' = 3V$.



32. Calculer U_{EF}
33. Calculer l'intensité I_0 circulant dans la branche principale.
34. Calculer l'intensité I' circulant dans la branche contenant le générateur E' , et préciser son sens.
35. Calculer les intensités i_1 , i_2 et i_3 .

Cinquième partie : Pont de Wheatstone

Le pont de Wheatstone est un circuit permettant de mesurer précisément une résistance R inconnue. Il est alimenté par une source de tension de fém E supposée idéale. On place un appareil de mesure entre A et C. Le pont est dit **équilibré** lorsque $U_{AC} = 0$ V. On l'équilibre en faisant varier la résistance R_1 , la flèche indiquant qu'il s'agit bien d'une résistance variable.



36. Déterminer la tension U_{AC} en fonction de E et des différentes résistances.
37. À quelle condition le pont est-il équilibré ?
38. Le pont est à l'équilibre pour $R_1 = 8,75$ k Ω , en déduire la valeur de la résistance R inconnue. On prendra $R_2 = 1,00$ k Ω et $R_3 = 10,0$ k Ω .