Épreuve de Physique - 22 Septembre 2025

Durée : 3h

Consignes :

— L'usage de la calculatrice est interdit.

— Un résultat d'application numérique **ne doit pas** contenir d'opérations ou de fonctions (fraction, racine, logarithme, etc.) et **sera compté comme faux** s'il en contient.

— Les expressions littérales seront encadrées, et les applications numériques soulignées. **Une application numérique sans unité sera considérée fausse**.

— Les trois parties sont indépendantes.

— Si vous constatez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, indiquez le sur votre copie. Vérifiez tout de même que l'erreur ne provient pas de vous (homogénéité, ordre de grandeur, etc.).

---

1 Mise au point d'un appareil photographique numérique (APN)

On modélise l'objectif d'un APN par une lentille mince convergente dans les conditions de Gauss et son capteur par un écran. Les phénomènes reliés à la taille des pixels ou du diaphragmes ne sont pas pris en compte.
La lentille, de distance focale image f', est placée à une distance variable d de l'écran comprise entre d_{min} et d_{max}. Ces extremum sont distants de $\Delta d = 3$ cm. L'objet visé est à la distance D quelconque et l'image est nette (rigoureusement) sur l'écran.

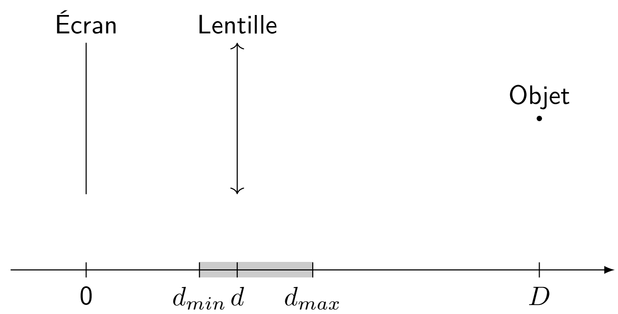


FIGURE 1 – Schéma simplifié d'un APN visant un objet.

1. Décrire ce que sont les conditions de Gauss.
2. Faire un schéma optique sur votre copie de la situation représentée par la figure 1. Faire figurer sur l'axe optique un point objet noté A, le centre optique et le foyer image F' puis construire l'image A' de A sur l'écran. Placer les longueurs d, D et f' sur le schéma.
3. À partir de la formule de conjugaison de Descartes donnée en annexe, donner une expression reliant d, D et f'.
4. L'objet ne peut être physiquement avant la lentille, ce qui se traduit par $D > d$. Justifier le fait que d diminue lorsque D augmente en utilisant le résultat précédent.
5. Quelle est la limite de d lorsque D tend vers l'infini ?
6. Par un tracé, retrouver la position d'un point objet A à partir de son image réelle A' situé sur l'axe optique à une distance du centre optique plus petite que la distance focale f'. Commenter ainsi l'absence d'intérêt du cas d $<$ f' pour l'APN.

On souhaite que l'APN puisse faire la mise au point sur un objet à l'infini mais aussi, en déplaçant la lentille dans la zone autorisée, sur un objet le plus proche possible de l'écran.

7. En déduire que pour remplir ce cahier des charges, la zone de déplacement de la lentille est bornée par $d_{min} = f'$.
8. Exprimer D_{min}, la distance minimale de mise au point possible uniquement en fonction de d_{max} et f' puis uniquement en fonction de Δd et f'.

On considère le réglage obtenu comme celui d'un APN dans des conditions classiques.
Il est possible de faire de la "macrophotographie" avec un objectif classique d'APN en rajoutant une bague d'adaptation entre l'objectif et l'appareil. Cette bague ne comporte aucune optique mais permet tout de même de prendre des objets proches et petits. Cette bague éloigne l'objectif du capteur d'une distance notée L, la longueur de la bague. Pour le modèle utilisé jusqu'ici, cela revient à décaler la zone de déplacement possible de L.

9. Est-il possible de faire la mise au point sur un sujet à l'infini avec cette bague dans les conditions de réglage classique d'un APN ? Déterminer les nouvelles expressions D'_{max} et D'_{min} de D en fonction de f', Δd et L.
10. La distance de mise au point minimale pour un "objectif de 50 mm" (comprendre lentille de distance focale image = 50 mm) est de 45 cm. En déduire la longueur Δd et la comparer à la valeur fournie par l'énoncé. Commenter l'origine de cet écart en critiquant la modélisation de l'objectif utilisé. On utilisera pour les calculs le fait que $\sqrt{1+a} \simeq 1 + \frac{a}{2}$ quand a est très petit devant 1.
11. Donner l'expression des grossissements maximaux γ_{max} et γ'_{max} respectivement sans et avec une bague en fonction de f', Δd et L.
12. En plaçant une bague, on obtient l'image d'un objet trois fois plus grande que sans bague. Déterminer la longueur de la bague en prenant $\Delta d = 3$ cm

2 Analyse dimensionnelle

Dans un fluide, une bille de diamètre d animée d'une vitesse v est soumise à une force de frottement F donnée par $F = 3\pi\eta d v$, où η est la viscosité du fluide.

13. Quelle est la dimension de η ?
14. Lorsque la bille est lâchée sans vitesse initiale à l'instant t = 0, sa vitesse s'écrit pour t $>$ 0 : $a(1 - \exp(-t/b))$ où a et b sont deux grandeurs qui dépendent des caractéristiques du fluide. Quelles sont les dimensions de a et b ?
15. Proposez par analyse dimensionnelle une expression homogène à b. Les grandeurs intervenant dans ce paramètre sont la masse de la bille m, son diamètre d et la viscosité du fluide η.
16. Si ρ désigne la masse volumique du fluide, trouver les exposants $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ tel que $\rho^\alpha v^\beta \eta^\gamma d^\delta$ soit sans dimension (parmi les différents choix possibles on prendra $\alpha = 1$). Cette grandeur sans dimension est appelée le nombre de Reynolds, permettant de caractériser le régime d'écoulement du fluide autour de la bille. Donner son expression.

3 Détermination expérimentale d'un indice optique

Une plaque de polyuréthane d'épaisseur 8 mm est posée sur un plan gradué tous les 5 mm (figure 2). On constate une déformation des graduations lorsqu'on les observe à travers la plaque : on cherche ici à utiliser ce phénomène bien connu pour mesurer l'indice optique du milieu. La prise de vue de la figure 2 est faite avec un smartphone dont l'appareil photographique est situé à 25 cm au dessus du plan et à l'aplomb de la position 0 du plan (graduation 0 non visible sur la photographie).

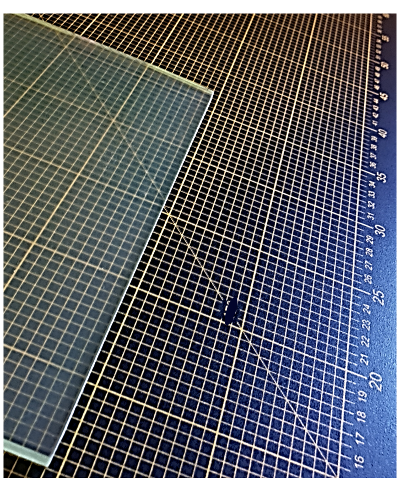
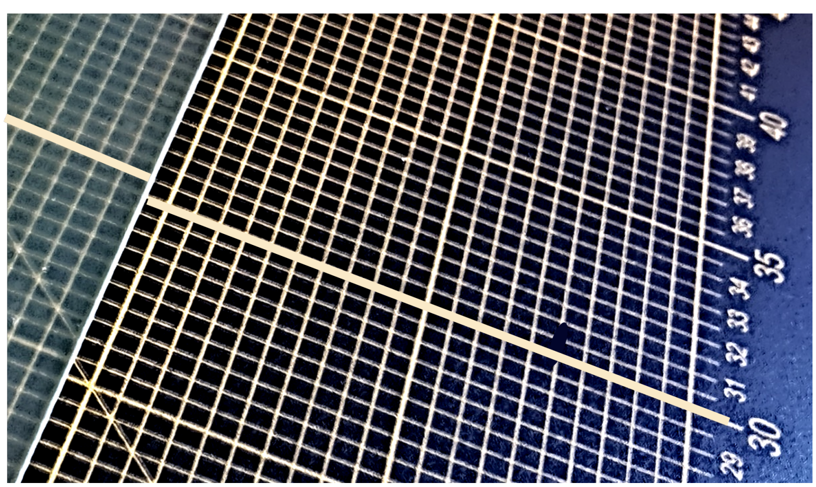
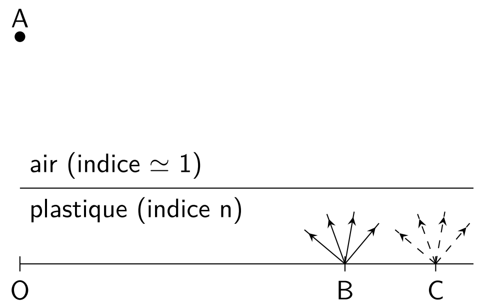



FIGURE 2 – Plaque de polyuréthane sur plan gradué. Chaque carré du plan fait 5 mm de côté. La photo est prise à 25 cm de hauteur et à l'aplomb de la position 0 du plan. L'image de droite correspond à un zoom de l'image de gauche. On observe un décalage des graduations.

17. Énoncer **la** loi permettant de rendre compte du phénomène de déviation de la lumière à la traversée d'un dioptre. Un schéma sera nécessaire pour définir les différentes grandeurs.

On observe que la graduation des 30 cm visible à travers la plaque est alignée avec celle des 30,5 cm du plan sans la plaque.
Nous pouvons en déduire que le rayon lumineux issu de la ligne des 30 cm à travers le plastique provient virtuellement de celle des 30,5 cm.
L'ébauche de schéma ci-contre, qui sera à compléter par la suite, va permettre de rendre compte de cette observation : la lumière provient (réellement ou virtuellement) des points B (30 cm) ou C (30,5 cm) avant d'être observée en A.



18. Tracer la marche du rayon lumineux issu de B et parvenant en A à travers le plastique. On notera D le point d'intersection entre ce rayon et le dioptre, et E le projeté vertical de D sur le support.
19. Exprimer la longueur EC à partir des longueurs AO, DE et OC.
20. À partir de la question 17, déterminer une relation entre l'indice n du plastique et les angles $\widehat{\mathrm{EDC}}$ et $\widehat{\mathrm{EDB}}$.
21. Montrer que l'angle $\widehat{\mathrm{EDB}}$ vérifie la relation $\tan\left(\widehat{\mathrm{EDB}}\right) = \frac{\mathrm{OC}}{\mathrm{AO}} - \frac{\mathrm{BC}}{\mathrm{DE}}$.
22. Déterminer, à partir des données de l'énoncé et de l'aide aux calculs, la valeur de l'indice optique n du plastique.
23. Sur la photographie de gauche de la figure 2, les lignes ne sont pas visibles à travers la tranche du plastique. Citer brièvement une cause probable de ce phénomène.
24. Une erreur de 1 mm sur la lecture de la graduation donne un écart sur la valeur de l'indice d'environ 0,2. Commenter. Décrire en quelques lignes une méthode pour exploiter pleinement cette photographie et réduire cette incertitude.

Aide aux calculs :

$\frac{30,5 \times 8}{25} = 9,76$; $\arctan(305/250) \simeq \arctan(30/25) \simeq$ 0,88 rad ; $\sin(0,88 \text{ rad}) = 0,77$; $\sin(0,54 \text{ rad}) = 0,51$
$\arctan(305/250 - 5/8) =$ 0,54 rad ; $\arctan(305/250 - 6/8) = 0,43 \text{ rad}$; $\arctan(305/250 - 4/8) = 0,62 \text{ rad}$
$0,77/0.51 = 1,5$; $0,88/0,54 = 1,6$

Annexe

A le point objet, O le centre optique de la lentille de distance focale image f' et A' le point image.

— Relation de conjugaison de Descartes :

$$\frac{1}{\overline{\mathrm{OA'}}} - \frac{1}{\overline{\mathrm{OA}}} = \frac{1}{f'}$$

— Formule de grandissement transversal :

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$