Devoir Surveillé de Physique n°1

Thème : Optique - Durée : 3h

Consignes :

- ⋆ Les calculatrices sont interdites.
- ⋆ **Les expressions littérales sont à encadrer et les applications numériques à souligner**.
- ⋆ **Une application numérique sans unité sera considérée fausse**.
- ⋆ 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.).
- ⋆ Les parties peuvent être traitées de manière indépendante et dans l'ordre que vous voulez. Cependant, les questions devront être restituées dans l'ordre sur votre copie : il faudra donc savoir gérer les espaces si vous sautez des questions.
- ⋆ Les simplifications ou remaniements d'équations n'intéressent pas votre correcteur (une succession de signes égal en est l'emblème), pensez à faire ces calculs sur un brouillon et à ne mettre que l'essentiel sur votre copie (invocation d'un **théorème**, d'une **propriété**, d'une **définition**, d'une **hypothèse** : les éléments physiques concrets en fin de compte).

Pour gagner des points supplémentaires :

- + La réalisation de schémas soignés accompagnant le propos pourra être valorisé.
- + Les commentaires sur les valeurs numériques seront appréciés et éventuellement valorisés.

Ce qui vous fera perdre des points :

- Une réponse non justifiée : ne pas expliciter les hypothèses, définitions, propriétés et théorèmes employés conduira à un malus.
- Un résultat non homogène conduira à un malus. Pour annuler ce malus, remarquez ce type erreur en en faisant mention sur votre copie ("je remarque que mon résultat n'est pas homogène mais je n'en trouve pas la cause") ou corrigez-vous.
- Manipuler des équations en remplaçant les symboles des grandeurs par des valeurs numériques conduira à un malus. Ce n'est uniquement au moment de l'application numérique que vous devez utiliser les valeurs numériques.

1 Analyse dimensionnelle (10 min)

La pulsation plasma ω_p est une grandeur caractérisant les plasmas et qui dépend de la masse d'un électron m, de sa charge e, de la densité particulaire électronique n_e (nombre d'électrons par unité de volume) et de la permitivité diélectrique du vide ε_0.

1. ε_0 intervient dans l'expression de la force de Coulomb F entre deux charges ponctuelles e situées à une distance d :

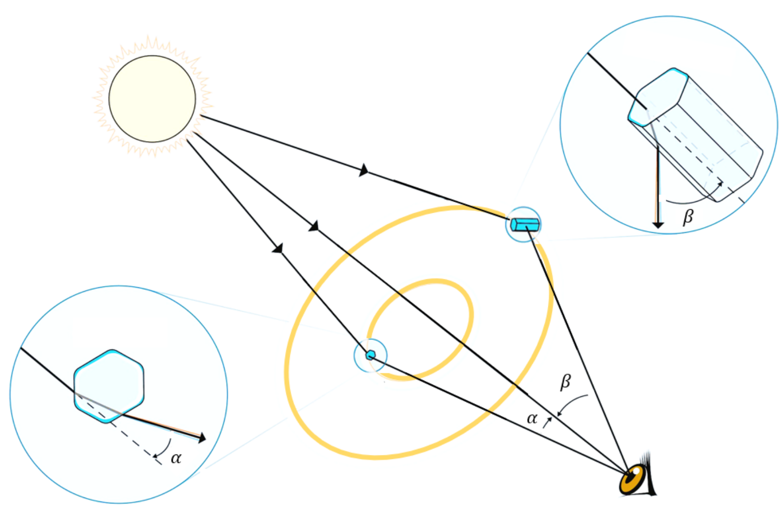
$$F = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 d^2}.$$

En déduire l'unité de ε_0 dans le système international.

2. Sachant que la pulsation plasma est homogène à une fréquence, déterminer une expression possible pour ω_p en fonction des grandeurs proposées à l'aide d'une équation aux dimensions.

2 Halos (30 min)

Des cercles lumineux peuvent apparaître autour du Soleil portant le nom de halos lorsque les conditions météorologiques le permettent (figure gauche). La présence de cristaux de glace de forme hexagonale est à l'origine du phénomène.
Deux cercles apparaissent à l'observateur écarté du soleil d'un angle noté α et β dans l'exercice (figure droite). Ces angles correspondent à des angles de dit de "déviation minimale" de la lumière à travers les cristaux : l'observateur constate une surintensité lumineuse dans cette direction.



La figure (a) montre un rayon dévié par un cristal de section hexagonale régulière ($A_1 = 120°$) et la figure (b) envisage la déviation par un cristal dont deux faces adjacentes forment un angle $A_2 = 90°$.
L'indice optique de la glace est $n = 1{,}31$. L'indice de l'air sera pris égal à 1.

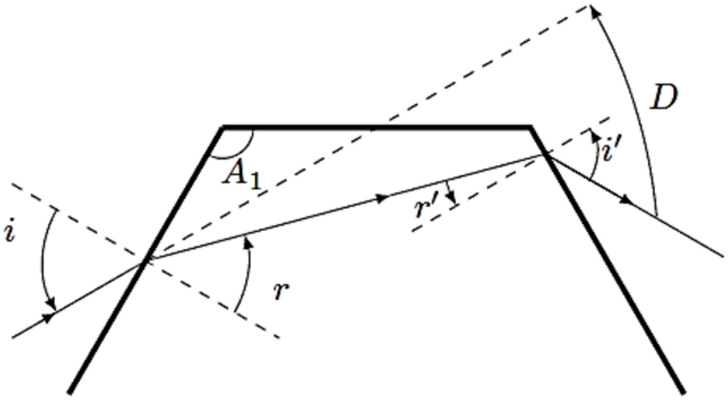


Figure (a)

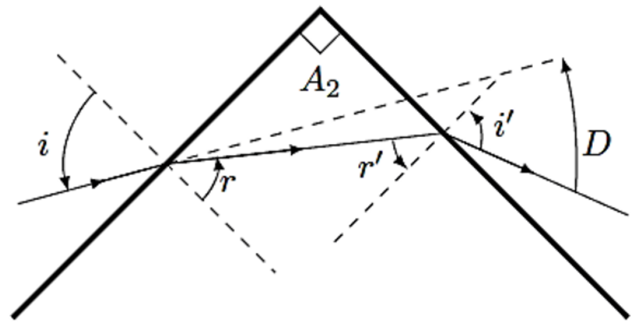
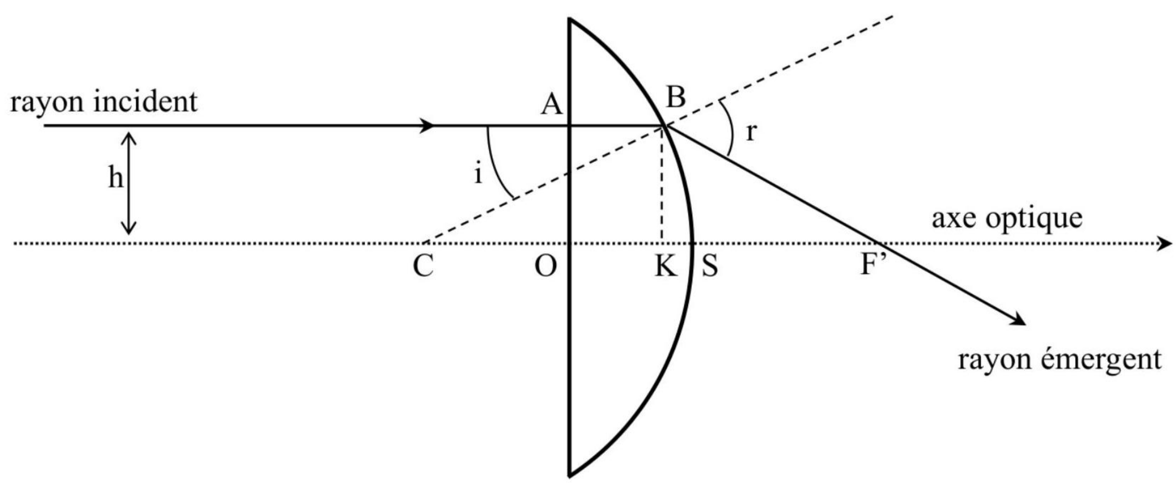


Figure (b)

3. Rappeler les lois de Snell-Descartes en vous aidant d'un schéma.
4. Écrire les relations liant i et r d'une part, i' et r' d'autre part.
5. Montrer géométriquement que l'angle de déviation D défini sur les schémas peut s'écrire $D = i + i' - r - r'$ dans les deux cas.
6. Montrer géométriquement que la somme $r + r'$ est une constante s'exprimant en fonction uniquement des angles A_1 ou A_2 selon le cas.
7. On peut montrer que le minimum de déviation (défini lorsque $\frac{\mathrm{d}D}{\mathrm{d}i} = 0$) est obtenu pour $i = i'$. Exprimer l'angle de déviation minimal α et β en fonction des angles A_1 ou A_2 et de l'indice n. Aide : montrer que $i = i'$ implique $r = r'$ et utiliser la relation géométrique pour déterminer la valeur de r.
8. Retrouver à l'aide des formules précédentes, les valeurs 22° et 46° associés aux angles α et β respectivement. Aide aux calculs : $\arcsin(1{,}31/\sqrt{2}) = 68{,}0°$, $\arcsin(1{,}31/2) = 40{,}9°$.

3 Retrouver les propriétés des lentilles (30 min)

Les propriétés optiques des lentilles viennent de leur forme géométrique. Pour en proposer une explication, on considère une lentille plan-convexe (ci-dessous) constituée d'un verre d'indice n. L'indice de l'air ambiant est égal à 1. La partie sphérique de la lentille est une portion de sphère de centre C et de rayon $R = CB$. L'épaisseur de la lentille au centre est $e = OS$. On considère un rayon incident parallèle à l'axe optique, à une distance h de celui-ci. Ce rayon pénètre dans la lentille en A et est réfracté en B. On note i et r les angles incident et réfracté, comptés par rapport à la normale (CB). Le rayon émergent coupe l'axe optique en F'. On note K le projeté orthogonal de B sur l'axe optique.



9. Montrer que la distance CK est $CK = R\cos i$. En déduire l'expression de KS.
10. Montrer que la distance KF' peut se mettre sous la forme :

$$KF' = \frac{R\sin i}{\tan(r-i)}$$

11. Enfin, montrer que la distance OF' peut se mettre sous la forme :

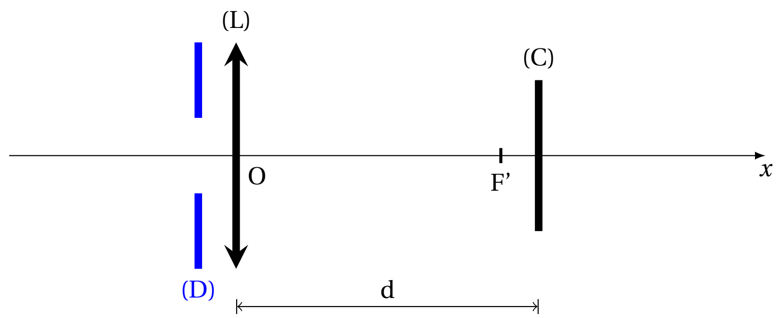
$$OF' = e - R(1-\cos i) + \frac{R\sin i}{\tan(r-i)}$$

12. Rappeler la définition du stigmatisme rigoureux.
La lentille constitue-t-elle un système rigoureusement stigmatique? Justifier à l'aide de la formule ci-dessus.
13. Dans le cas de la lentille mince ($e \ll R$) dans les conditions de Gauss ($i \ll 1\text{rad}$, $r \ll 1\text{rad}$), donner une expression approchée de la distance OF' en fonction de R et de n. On utilisera les approximations, valable pour tout $x \ll 1\text{rad}$: $\cos x \simeq 1$, $\sin x \simeq x$ et $\tan x \simeq x$. Commenter.

4 L'appareil photographique (1h40)

4.1 Objet et image

On modélise un appareil photo (figure ci-dessous) par l'association d'une lentille mince (L) de focale $f' = \overline{OF'}$ appelée "objectif", d'un capteur (C) sur lequel on souhaite récupérer l'image et d'un diaphragme (D) placé devant la lentille.



La distance d entre la lentille (L) et le capteur (C) est réglable, grâce à un mécanisme lié à l'objectif; elle est comprise entre $d_{\min}$ et $d_{\max}$.
À l'aide de cet appareil, on souhaite former sur le capteur l'image d'un arbre de hauteur h situé à une distance L devant l'objectif.
Rappel : l'objet AB et l'image $A'B'$ donnée par la lentille mince de centre O et de foyers principaux F (objet) et F' (image) dans les conditions de Gauss sont liés par les relations :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}, \quad \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

14. La lentille mince est utilisée dans les "conditions de Gauss". Préciser en quoi elles consistent.
15. Quelle partie de l'appareil permet d'assurer que ces conditions sont remplies? Dire ce que ces conditions permettent.
16. Faire un schéma soigné de la situation en notant AB l'objet et $A'B'$ son image sur le capteur (A est sur l'axe et AB appartient à un plan orthogonal à l'axe). Positionner les foyers principaux et tracer au moins deux rayons lumineux issus de B pour justifier la position de l'image $A'B'$.
17. Exprimer la distance $d = \overline{OA'}$ en fonction de f' et L.
18. Exprimer le grandissement γ en fonction de f' et L. En déduire ensuite la taille $A'B'$ de l'image de l'arbre sur le capteur en fonction de h, f' et L.
19. Calculer cette taille avec $f' = 50$ mm, $h = 5,0$ m et $L = 20$ m.
20. Quelle est la valeur de d lorsque l'objet est à l'infini?
21. Montrer qu'il existe une distance limite notée $L_{\min}$ en dessous de laquelle il ne sera pas possible d'obtenir une image sur le capteur, alors que ce serait toujours possible pour des valeurs supérieures à $L_{\min}$. Exprimer $L_{\min}$ en fonction de f' et $d_{\max}$.
22. Calculer $L_{\min}$ pour $f' = 50$ mm et $d_{\max} = 55$ mm.

4.2 Influence de la focale

On souhaite obtenir une image de l'arbre sur le capteur plus grande sans changer de place (donc en gardant la même valeur pour L).
On change donc l'objectif et on le remplace par un objectif de focale $f'_1 = 100$ mm. La distance d est toujours réglable mais les valeurs $d_{\min}$ et $d_{\max}$ sont différentes des valeurs précédentes.

23. Quelle sera la taille de l'image de l'arbre sur le capteur?
24. Si on suppose que le capteur a pour dimensions : 24 mm × 36 mm, sera-t-il possible de voir l'arbre en entier sur la photo obtenue?
25. L'objectif utilisé est appelé "téléobjectif" ou "objectif de longue focale". Sur un site internet dédié à la photographie, on peut lire que ce genre d'objectif "rapproche les objets". Commenter cette phrase en indiquant la part de vérité ou d'inexactitude qu'elle contient.

4.3 Téléobjectif

On souhaite maintenant réaliser un téléobjectif en utilisant deux lentilles : une lentille (L1) convergente et une lentille (L2) divergente, séparées par une distance e. La distance L entre (L1) et l'arbre n'a pas changé.
La lentille (L1), de focale f_1', donne de l'arbre AB une image intermédiaire A_1B_1 qui joue le rôle d'objet pour la lentille (L2), de focale f_2', qui en donne une image finale $A'B'$.

26. Étant donné que $L \gg f_1'$, où se situe approximativement le point A_1 ? On admet pour l'instant que $\overline{O_2A_1} > 0$. Exprimer alors $\overline{O_2A_1}$ en fonction de f_1' et e.
27. On considère dans cette question une lentille divergente seule. On place un objet A_1B_1 virtuel entre le centre O de cette lentille et son foyer objet F. Faire un schéma sur lequel vous tracerez deux rayons particuliers qui permettent de construire l'image $A'B'$ de A_1B_1.

On admet pour la suite que le seul cas où l'image formée par une lentille divergente est réelle est lorsque l'objet est entre O et F comme ci-dessus.

28. On revient au téléobjectif. L'image $A'B'$ doit être réelle (sur le capteur). En déduire où doit se situer l'image intermédiaire A_1B_1, puis que la distance e entre les centres des deux lentilles doit être située dans une plage de valeurs bien précise. Exprimer cette condition sur e sous la forme d'une double inégalité sur e, f_1' et f_2' (toujours en supposant que $L \gg f_1'$).
29. Vérifier que cette condition est réalisée avec $f_1' = 10$ cm, $f_2' = -5$ cm et $e = 8$ cm.
30. Avec les valeurs numériques précédentes, calculer la distance d entre O_2 et le capteur.
31. Calculer de même la taille de l'image $A'B'$ de l'arbre sur le capteur.

4.4 Exploitation d'une photographie

Informations sur les conditions de prise de la photographie.
Sensibilité : 100 ISO
Vitesse : 1/250 s
Ouverture : f /7,1
Focale : 18 mm

La photo ci-dessus (non rognée) a été prise avec un appareil photo numérique de type "Canon G10", qui possède un capteur dont les dimensions sont de 5,7 par 7,6 mm. Il s'agit d'une photo prise dans la baie du Mont Saint-Michel, à une distance de 1,46 km de celui-ci.

32. A partir de la photo obtenue, déterminer la hauteur du Mont Saint-Michel (flèche comprise) en indiquant les hypothèses posées, la modélisation du problème (par exemple par un schéma légendé) et les calculs effectués. Même si vous n'aboutissez pas, toute piste pertinente sera valorisée.

∗ ∗ ∗ Fin ∗ ∗ ∗