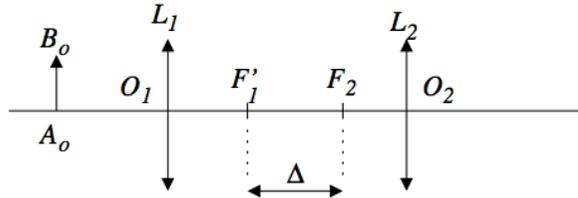


Physique. Sujet 1. ICNA. 2016 (extrait)

Pour chaque question, il y a potentiellement une bonne réponse, deux bonnes réponses ou aucune bonne réponse.

Un microscope est constitué d'un objectif assimilé à une lentille mince convergente \mathcal{L}_1 de centre O_1 , de distance focale $f'_1 = 50$ mm, de foyer principal F'_1 , associé à un oculaire également assimilé à une lentille mince convergente \mathcal{L}_2 de centre O_2 , de distance focale $f'_2 = 5,0$ mm et de foyer principal objet F_2 (Cf. figure ci-après où l'échelle n'est pas respectée). La distance $\Delta = F'_1F_2$ est fixée par le constructeur à 16 cm. L'instrument forme d'un objet A_oB_o , une image intermédiaire par l'objectif A_1B_1 , reprise par l'oculaire qui en donne une image A_2B_2 .



On donne la relation de conjugaison de Descartes, de Newton, et le grandissement transversal G_t pour une lentille mince de distance focale f_i :

$$-\frac{1}{p_o} + \frac{1}{p_i} = \frac{1}{f_i} \quad ; \quad \sigma_o \sigma_i = -f_i^2 \quad ; \quad G_t = \frac{p_i}{p_o} = -\frac{\sigma_i}{f_i}$$

où p_o et p_i sont les distances algébriques de l'objet et de l'image au centre de la lentille et σ_o et σ_i sont les distances algébriques respectives de l'objet au foyer principal objet et de l'image au foyer principal image.

Q1. Quel est l'ordre de grandeur de la limite de résolution θ_l de l'œil et de la distance minimale d_m d'accommodation d'un œil normal ?

- A) $\theta_l \approx 1'$ B) $\theta_l \approx 1^\circ$ C) $d_m \approx 7$ cm D) $d_m \approx 25$ cm

Q2. On définit le grossissement G du microscope par le rapport positif de l'angle sous lequel on voit l'objet à travers l'instrument (en supposant A_2B_2 rejeté à l'infini) sur l'angle sous lequel on voit l'objet en l'observant au punctum proximum de l'œil. Exprimer G .

- A) $G = \frac{d_m A_1 B_1}{f'_2 A_o B_o}$ B) $G = \frac{d_m A_1 B_1}{f'_1 A_o B_o}$ C) $G = \frac{f'_2 A_1 B_1}{d_m A_o B_o}$ D) $G = \frac{d_m A_o B_o}{f'_2 A_1 B_1}$

Q3. Quelle est la valeur numérique de G ?

- A) $G = 25$ B) $G = 100$ C) $G = 160$ D) $G = 500$

Q4. À quelle distance d_2 de O_2 trouve-t-on l'image de la monture de l'objectif par l'oculaire ?

- A) $d_2 \approx 25$ cm B) $d_2 \approx 5$ mm C) d_2 est infini D) $d_2 \approx 2$ m

Q5. À quelle distance d_o positive en avant de l'objectif doit se trouver A_oB_o afin que l'image à travers le microscope se situe à l'infini ?

- A) $d_o = f'_1 + \frac{f_1'^2}{\Delta}$ B) $d_o = f'_1 - \frac{f_1'^2}{\Delta}$ C) $d_o = \frac{f_1'^2}{\Delta}$ D) $d_o = -\frac{f_1'^2}{\Delta}$

Q6. L'œil se situe désormais dans le plan focal image de l'oculaire. À quelle distance d_1 positive en avant de l'objectif doit se trouver A_oB_o afin que l'image à travers le microscope soit au punctum proximum de l'œil ?

- A) $d_1 = f'_1 + \frac{f_1 f_2'}{\Delta + f_2'^2/dm}$ B) $d_1 = f'_1 - \frac{f_1 f_2'}{\Delta - f_2'^2/dm}$ C) $d_1 = f'_1 + \frac{f_1'^2}{\Delta + f_2'^2/dm}$ D) $d_1 = f'_1 - \frac{f_1 f_2'}{\Delta - f_2'^2/dm}$

Sujet 03. Lunette astronomique (CS, TSI, 2017)

On s'intéresse à quelques éléments du matériel d'un astronome amateur adepte de l'imagerie numérique et désirant photographier Jupiter lors d'une période favorable à son observation. Dans un premier temps, on modélisera simplement les éléments optiques de son instrument d'observation, puis on abordera un dispositif antibuée équipant l'objectif de la lunette.

1 Lunette astronomique

1.1 Diamètre angulaire

1. Pour un observateur terrestre, Jupiter est vue sous un angle α qui varie suivant la distance Terre-Jupiter. Les orbites de la Terre et de Jupiter sont assimilées à des cercles dans un même plan, ayant pour centre le Soleil, de rayons respectifs $R_T = 150 \times 10^6$ km et $R_J = 780 \times 10^6$ km et décrits dans le même sens. Jupiter est modélisée par une sphère de diamètre $d_J = 140 \times 10^3$ km.

Calculer, en seconde d'arc, sous quel angle maximal α_0 on voit Jupiter depuis la Terre. On dit alors que Jupiter est en opposition.

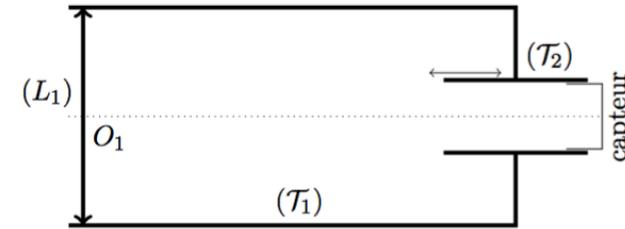
2. On donne $T_T = 365,25$ jours, la durée de révolution de la Terre autour du Soleil. Déterminer T_J , la durée de révolution de Jupiter autour du Soleil.
3. Justifier que le mouvement sur les orbites circulaire est uniforme. Déterminer alors le temps qui s'écoule entre deux oppositions de Jupiter.

À cause des imperfections du modèle, la valeur de α_0 n'est pas exactement celle trouvée à la première question, mais $\alpha_0 = 50''$ ($3600'' = 1$ degré). On adoptera cette valeur dans toute la suite du problème.

1.2 Mise au point

L'astronome amateur désire photographier la planète Jupiter vue depuis la Terre à l'opposition. Il utilise une lunette astronomique (figure ci-après) dont l'objectif est assimilé à une lentille mince convergente L_1 de diamètre $d_1 = 235$ mm et de distance focale $f'_1 = 2350$ mm, monté sur un tube \mathcal{T}_1 . Une caméra CCD est fixée sur un tube \mathcal{T}_2 appelé « porte oculaire ». La mise au point est faite en faisant

coulisser \mathcal{T}_2 . Dans toute la suite (sauf question sur la diffraction), on se placera dans le cadre de l'optique géométrique et dans les conditions de Gauss.



Le fabricant de la caméra donne les caractéristiques techniques suivantes pour le capteur : modèle ICX618, type CCD, noir et blanc, rectangulaire de diagonale $d_c = 4,48$ mm, surface $S_c = 9,63$ mm², comptant $N = 307200$ pixels de forme carrée.

1. Calculer la largeur ℓ_c et la hauteur h_c du capteur, ainsi que la largeur ε_c d'un pixel.
2. Expliquer pourquoi il est très raisonnable de considérer que Jupiter est située à l'infini, ce qu'on supposera pour toute la suite.
3. Quelle est alors la largeur, exprimée en nombre de pixels, de l'image de Jupiter sur le capteur ?
4. Pour estimer la précision avec laquelle on doit faire la mise au point, on suppose que l'ensemble (\mathcal{T}_2 -capteur) se trouve à une distance ε_0 de la position assurant une image parfaitement nette.

En raisonnant sur les rayons issus du point de Jupiter situé sur l'axe optique de L_1 , expliquer physiquement (faire un schéma) que l'image de ce point sur le capteur n'est plus ponctuelle et forme une tache de largeur ε_t . On distinguera les deux sens possibles de décalage du porte oculaire.

5. À quelle condition cette non ponctualité ne se remarquera pas sur le capteur utilisé ? En déduire la valeur maximale autorisée pour ε_0 sans qu'il y ait d'incidence sur la netteté de l'image formée sur le capteur (tolérance sur la mise au point).

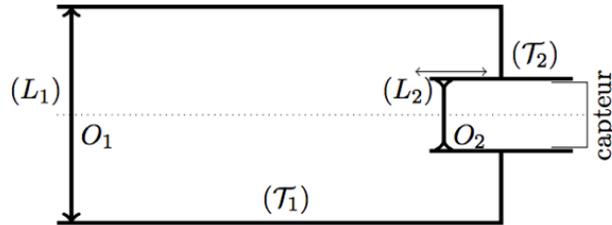
1.3 Lentille de Barlow

Pour obtenir une image plus grande de la planète, on intercale une lentille de Barlow, modélisée ici par une lentille mince (L_2) divergente, de distance focale f'_2 , placée à la distance $D_{2c} = 200$ mm du capteur (figure ci-après).

Etude d'un appareil photographique (d'après Mines et Centrale)

On assimile l'objectif d'un appareil photographique à une lentille mince convergente L de centre O et de distance focale image f' . La distance d entre L et l'écran E où se trouve la pellicule sensible est variable, ce qui permet d'effectuer la mise au point.

La mise au point se fait en translatant l'ensemble (L_2 -capteur), fixé sur le tube porte oculaire. On notera D_{12} la distance entre (L_1) et (L_2) et on admettra que F'_1 est situé entre (L_2) et le capteur.



- Comment faut-il choisir f'_2 et à quelle valeur doit-on régler D_{12} pour que le dispositif produise sur le capteur de la caméra une image de Jupiter trois fois plus large que précédemment ?

On rappelle la relation de conjugaison de Descartes pour une lentille mince

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

- Le dispositif de Barlow est alors qualifié de « tripleur de focale ». Proposer une justification à ce terme.

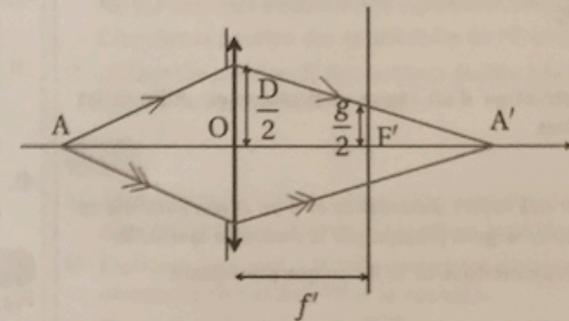
1.4 Diffraction

Jusqu'à présent, on a négligé les effets de la diffraction, qui produit un étalement des images. En supposant que l'effet dominant est la diffraction à travers l'ouverture délimitant L_1 , estimer (ordre de grandeur) la largeur ε_d sur le capteur de l'image d'un objet ponctuel situé à grande distance suivant l'axe optique, dans le cas de la lunette munie du tripleur de focale.

On considérera que la mise au point est parfaite et que l'ensemble de la chaîne optique est assimilable à une lentille de diamètre d_1 et de focale $3f'_1$.

Commenter le résultat obtenu.

- Mise au point de l'objectif* : on désire photographier des objets dont la distance à L varie de x à l'infini. Dans quel domaine doit pouvoir varier d ? Calculer numériquement les valeurs extrêmes d_{min} et d_{max} lorsque $x = 60$ cm et $f' = 50$ mm.
- Ouverture et temps de pose* : le faisceau entrant dans la lentille est limité par un diaphragme circulaire D dont le diamètre D est variable afin d'intercepter plus ou moins de lumière. On appelle ouverture relative de l'objectif le rapport $\frac{D}{f'} = \frac{1}{N}$ où N est le numéro du diaphragme. Les valeurs usuelles de N sont 2,8 ; 4 ; 5,6 ; 8 ; 11 et 16. En travaillant à énergie lumineuse incidente fixée, donner le lien entre l'énergie reçue sur la pellicule et les paramètres N et T_e (temps d'exposition). Expliquer le lien de cette suite géométrique avec celle des temps d'exposition T_e (en secondes) $\frac{1}{15}$; $\frac{1}{30}$; $\frac{1}{60}$; $\frac{1}{125}$; $\frac{1}{250}$ et $\frac{1}{500}$.
- Ouverture et distance hyperfocale liée au grain* : lorsque l'appareil est mis au point sur l'infini, un point A situé à distance finie sur l'axe donne, après développement, une tache due à la taille g du grain de l'émulsion de la pellicule. On prendra pour les applications numériques $g = 0,020$ mm.
 - En utilisant le schéma suivant et le théorème de Thalès, établir l'expression de la distance hyperfocale L_0 c'est-à-dire la distance minimale entre le point A et la lentille pour que la taille de cette tache reste inférieure à celle du grain.

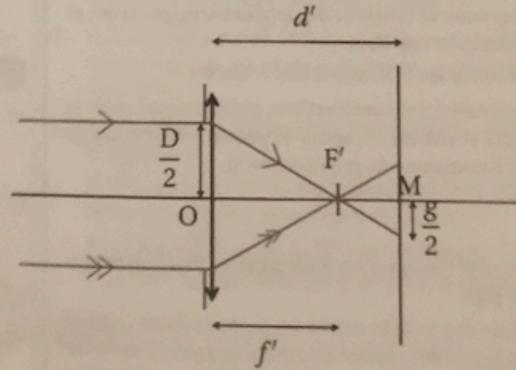


Le résultat sera exprimé en fonction de g , f' et N. Calculer la valeur numérique de L_0 pour $N = 2,8$ puis pour $N = 16$.

- La profondeur de champ P_r est la zone de l'espace objet donnant une image nette. Quel est qualitativement le lien entre N et P_r ? entre P_r et f' ?

d) Amélioration de la profondeur de netteté :

- i) A partir de la mise au point sur l'infini et sans agir sur l'ouverture du diaphragme, on augmente la valeur de d jusqu'à $d' > d$ afin d'améliorer encore la profondeur de champ autrement dit diminuer L_0 .



Le réglage est fait de manière à ce qu'un point à l'infini sur l'axe optique donne sur la pellicule une image à la limite de la profondeur de netteté soit une tache de diamètre g . Exprimer la valeur d' en fonction de f' , g et N . Calculer numériquement d' pour $N = 2,8$ et $N = 16$.

- ii) Evaluer approximativement la nouvelle distance hyperfocale L_1 en fonction de L_0 . On pourra utiliser le développement limité $(1 + \epsilon)^\alpha \approx 1 + \alpha\epsilon$ si $\epsilon \ll 1$. Conclure sur le fonctionnement des appareils photographiques sans mise au point comme les jetables.
- a) L'objectif est mis au point sur un cycliste situé à 10 m qui se déplace perpendiculairement à l'axe optique (sur une route rectiligne alors que le spectateur est sur le bord de la route) à la vitesse uniforme V de 40 km.h^{-1} . L'appareil jetable a un temps de pose de 8,0 ms. Le spectateur aura-t-il une photo floue ou nette ? Si l'appareil disposait d'un autofocus, le résultat serait-il changé ?