



Proxima du Centaure

Durée 2h30

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être un erreur d'énoncé, d'une part il le signale à la personne qui surveille, 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.

L'usage de calculatrices est autorisé.

AVERTISSEMENT

- ★ Lire le sujet en entier avant d'écrire quoi que ce soit
- ★ La rédaction (clarté, précision,...) et la présentation doivent être particulièrement soignées.
Les hypothèses doivent être clairement données lorsqu'elles ne sont pas évidentes !
- ★ N'oubliez pas d'écrire un minimum français. Le correcteur a un seuil de tolérance qu'il s'agirait de ne pas dépasser...

Ce problème est une invitation à regarder vers les étoiles, et tout particulièrement l'étoile la plus proche de la planète Terre après le Soleil : Proxima du Centaure aussi appelée *Proxima Centauri*.

Il est constitué de 3 parties totalement indépendantes. La première partie étudie une caractéristique de l'atmosphère terrestre qui a permis le développement de la vie sur Terre et peut-être un jour sur une exoplanète. La deuxième partie est relative à l'observation de Proxima du Centaure et à la détermination de sa distance et de sa taille. La troisième et dernière partie, s'intéresse à la composition des pellicules d'appareils argentiques utilisés pour la première observation de Proxima du Centaure.

Certaines données numériques sont regroupées ici, d'autres relèvent de votre initiative.

Données :

- Vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Charge électrique élémentaire : $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- Masse de l'électron : $m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- Masse du proton : $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- Distance Terre-Soleil : $D_{TS} = 1,50 \cdot 10^8 \text{ km}$
- Une année-lumière : $1 \text{ a.l.} = 9,461 \cdot 10^{15} \text{ m}$
- Masse molaire atomique des isotopes de l'argent : $M(^{109}\text{Ag}) = 109,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $M(^{107,0}\text{Ag}) = 107 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

I - Ozone et atmosphère

- 1/ Donner la configuration électronique de l'oxygène dans son état fondamental.
- 2/ Proposer une représentation de Lewis pour la molécule de dioxygène.
- 3/ Proposer une représentation de Lewis de la molécule d'ozone sachant qu'elle n'est pas cyclique.

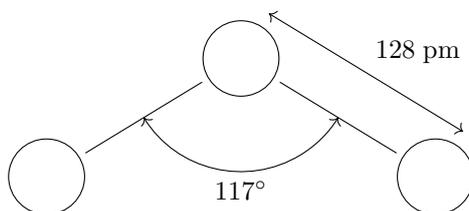


FIGURE 1 : Schématisation d'une molécule d'ozone où chaque sphère représente un atome d'oxygène

- 4/ La molécule d'ozone a la structure spatiale présentée sur la figure 1. Justifier l'existence d'un moment dipolaire et le représenter sur un schéma de la molécule.

II - Découverte de Proxima du Centaure

A) Observation à l'œil nu

L'étoile *Proxima Centauri* a été découverte en 1915 par l'astronome britannique Robert Innes, alors directeur de l'observatoire de l'Union à Johannesburg en Afrique du Sud. C'est une étoile de type naine rouge, de masse $M_E = 2,44 \cdot 10^{29}$ kg et de rayon $R_E = 9,81 \cdot 10^4$ km. Elle est située à $D_E = 3,99 \cdot 10^{13}$ km soit 4,22 années-lumière du Soleil.

Dans la suite du sujet, toutes les applications numériques seront faites à la longueur d'onde moyenne du visible $\lambda_{\text{obs}} = 600$ nm.

- 5/ Rappeler à quelle couleur correspond un rayonnement à la longueur d'onde λ_{obs} .
- 6/ Justifier, par un argument d'ordre de grandeur, que la distance entre la Terre et Proxima du Centaure peut être approximée à 4,22 années-lumière.
- 7/ En vous appuyant sur un schéma, calculer sous quel angle α on voit Proxima du Centaure à l'œil nu depuis la Terre. On exprimera le résultat en radians, degrés, en minute d'arc et en seconde d'arc. On rappelle que $1^\circ = 60' = 3600''$.
- 8/ La résolution de l'œil est-elle suffisante pour voir les détails de cette étoile ?

B) Première observation à l'aide d'un système optique

En 1915, Robert Innes, a, tout d'abord, utilisé un système optique (voir figure 2 ci-dessous) dont l'objectif est assimilé à une lentille mince convergente (L_1) de diamètre $d_1 = 235$ mm et de distance focale $f'_1 = 8$ m, monté sur un tube (\mathcal{T}_1). Une pellicule d'impression argentique est fixée sur un tube (\mathcal{T}_2) appelé « porte oculaire ». La mise au point est faite en faisant coulisser (\mathcal{T}_2).

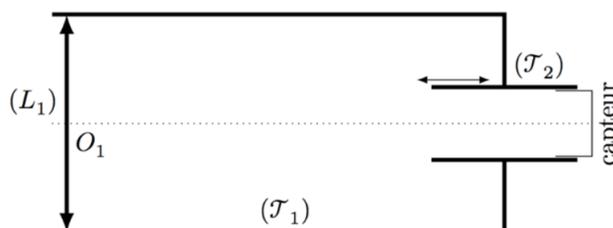


FIGURE 2 : Premier dispositif d'imagerie de *Proxima Centauri*

Dans toute la partie, on se placera dans le cadre de l'optique géométrique mis à part pour la question 25/.

- 9/ Énoncer les conditions de Gauss, justifier qu'on puisse considérer que l'observation de l'étoile soit faite dans ces conditions.

La pellicule utilisée est constituée de $N = 8640000$ grains de bromure d'argent (qu'on considérera comme étant carrés), précipité blanc qui noircit à la lumière. La pellicule est de dimensions $24 \text{ mm} \times 36 \text{ mm}$.

- 10/ Calculer la largeur ε_C d'un pixel.
- 11/ Expliquer pourquoi il est très raisonnable de considérer que *Proxima Centauri* est située à l'infini, ce qu'on supposera pour toute la suite.
- 12/ À quelle distance de (L_1) faut-il placer le capteur pour y obtenir une image nette de *Proxima Centauri*. Justifier qualitativement.
- 13/ Quelle est alors la taille, notée H , de l'image de Proxima du Centaure sur le capteur ? Montrer que l'image de *Proxima Centauri* sur la pellicule est ponctuelle.
Pour répondre à cette question on fera un schéma faisant figurer, entre autres, l'angle α et H ainsi que A_1B_1 l'image de AB par la lentille (L_1) où A est le centre de Proxima du Centaure et B un point de son extrémité. On supposera que le centre de Proxima du Centaure est sur l'axe optique.
- 14/ On cherche maintenant à 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 à droite de la position assurant une image parfaitement nette. En raisonnant à partir de rayons parallèles à l'axe optique et passant par le bord de la lentille (L_1) , expliquer, à l'aide d'une construction, que l'image de ce point sur le capteur n'est plus ponctuelle et forme une tache de largeur ε_T .
Exprimer ε_T en fonction de d_1 , f'_1 et ε_0 .
 - À quelle condition sur ε_T et ε_C cette non ponctualité ne se remarquera pas sur le capteur utilisé ?
 - En déduire l'expression de 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). On exprimera le résultat en fonction de ε_C , f'_1 et d_1 .
 - Faire l'application numérique. Commenter.

C) Amélioration de l'image

Rappelons que si un point objet A et un point image A' sont conjugués par la lentille L de focale f' et de centre O , d'après la Formule de Descartes on a

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

et le grandissement transversal est

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA}.$$

Pour créer une image plus grande de la planète et espérer obtenir une image étendue sur sa pellicule, Robert Innes eut l'idée d'intercaler une lentille de Barlow, modélisée ici par une lentille (L_2) divergente, de distance focale f'_2 placée à une distance $D_{2C} = 6,0 \text{ cm}$ du capteur (voir figure 3 ci-dessous). 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 O_1 et O_2 .

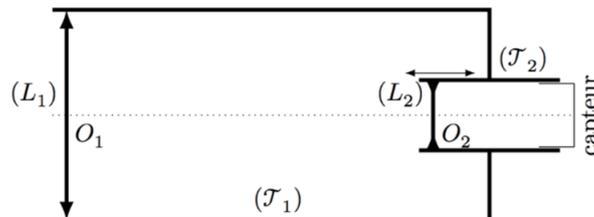


FIGURE 3 : Dispositif d'observation amélioré.

En rajoutant une lentille, l'image A_1B_1 par (L_1) devient objet pour (L_2) , on la qualifie ainsi d'image intermédiaire. La lentille de Barlow sert à faire de l'image intermédiaire A_1B_1 une image définitive $A'B'$ réelle, non inversée et agrandie d'un facteur 4.

- 15/ Compléter les tracés du document réponse présent en Annexe.
- 16/ L'image intermédiaire A_1B_1 doit-elle se trouver en amont ou en aval de la lentille de Barlow (L_2)? Justifier. Quel est ainsi le signe de $\overline{O_2F'_1}$?
- 17/ En utilisant la formule de grandissement pour la lentille (L_2), montrer que la distance algébrique $\overline{O_2F'_1}$ vaut $\frac{D_{2C}}{4}$.
- 18/ En déduire D_{12} .
- 19/ Déterminer en fonction de D_{2C} l'expression de la focale f'_2 de la lentille de Barlow.
- 20/ Faire une construction géométrique à l'échelle (qu'on précisera), de l'image $A'B'$ de A_1B_1 par la lentille (L_2). On placera les foyers F'_1 , F_2 et F'_2 sur la figure.
- 21/ Vérifier que le grandissement est conforme à ce qu'on attend.
- 22/ Le dispositif de Barlow est qualifié de « quadrupleur de focale ». Commenter en montrant que la taille de l'image $A'B'$ ne dépend toujours que de f'_1 et α .
- 23/ L'image définitive de *Proxima Centauri* est-elle vue comme ponctuelle ou étendue sur la pellicule?
- 24/ À partir de quelle valeur de distance focale pour (L_1) pourrait-on espérer obtenir une image étendue sur la pellicule? Commenter.
- 25/ 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 quadrupleur 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 $4f'_1$. On introduira une longueur d'onde et on en proposera un ordre de grandeur raisonnable. Commenter le résultat obtenu.
- 26/ Peut-on toujours considérer l'approximation de l'optique géométrique comme étant vérifiée?

III - Chimie des films argentiques

La photographie, depuis son invention, a fait appel à des procédés chimiques. L'utilisation de sels d'argent (bromure AgBr en particulier) a été largement développée.

Un film photographique comporte une couche de gélatine constituant un support pour AgBr solide (cristal ionique ($\text{Ag}^+ + \text{Br}^-$)). L'exposition à la lumière se traduit par une réduction d'une part infime d'ions Ag^+ en argent métallique Ag (germes). On obtient une image qui ne peut être observée (image latente).

Lors du développement, le rôle du révélateur est de réduire un très grand nombre d'ions Ag^+ au voisinage des germes uniquement (zones noires).

Le rôle du fixateur est d'éliminer à l'aide d'une solution aqueuse par formation de complexes, les ions Ag^+ qui n'ont pas été atteints par la lumière ou par le révélateur (formation de zones transparentes).

On obtient ainsi une image négative où les zones exposées à la lumière sont noires et les autres transparentes (exemple : radiographie médicale).

On n'étudiera pas toutes les étapes chimiques (il reste quelques chapitres de chimie à étudier avant de pouvoir le faire), mais on s'intéressera seulement à certains aspects.

L'élément Argent

Le symbole chimique de l'argent est Ag et son numéro atomique vaut 47. Cet élément est naturellement présent sous deux formes isotopiques, ^{107}Ag et ^{109}Ag , dont les abondances naturelles sont respectivement 52% et 48%.

- 27/ Expliquer ce qui distingue les deux isotopes naturels de l'argent. Donner la structure du noyau des deux isotopes.
- 28/ Calculer la masse molaire de l'argent naturel.
- 29/ Écrire la configuration électronique de l'argent dans son état électronique fondamental en citant les règles appliquées. Indiquer quels sont ses électrons de valence et de cœur.
- 30/ Où se situe l'argent dans le tableau périodique?
- 31/ L'argent présente en fait une anomalie de remplissage. Expliquer pourquoi et donner la configuration électronique réelle.
- 32/ Écrire la configuration électronique de l'ion Ag^+ dans son état électronique fondamental en expliquant votre raisonnement.

Fixateurs

Pour récupérer les ions Ag^+ , on envisage la formation de complexes entre Ag^+ et l'ammoniac NH_3 , ou le cyanure CN^- ou encore le nitrate NO_3^- .

- 33/ Établir la formule de Lewis de ces 3 molécules. Vous prendrez soin d'expliciter votre démarche pour au moins l'une de ces trois formules.

Lavage

Après fixation, le film photographique est lavé longuement à l'eau pour éliminer tous les sels. Pour obtenir ensuite un séchage rapide, on emploie un mélange eau-propan-1-ol. Le propan-1-ol a pour formule brute $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$.

- 34/ Le propan-1-ol est-il miscible avec l'eau ? Justifier.
- 35/ La température d'ébullition du propan-1-ol est $T_b = 97^\circ\text{C}$, tandis que celle du propane C_3H_8 est $T'_{eb} = -42^\circ\text{C}$. Expliquer.

Annexes à rendre avec la copie

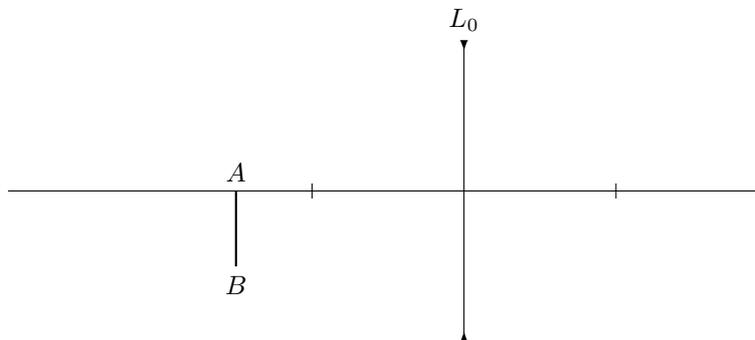


FIGURE 4 : Objet réel

↪ Placer F et F'

↪ Construire l'image de AB par L_0

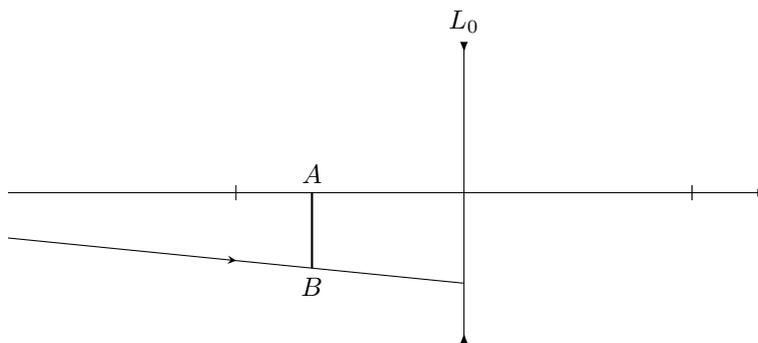


FIGURE 5 : Objet réel n°2

- ↪ Placer F et F'
- ↪ Construire le cheminement du rayon émergent correspondant au rayon incident passant par B .
- ↪ Construire l'image de AB par L_0 .

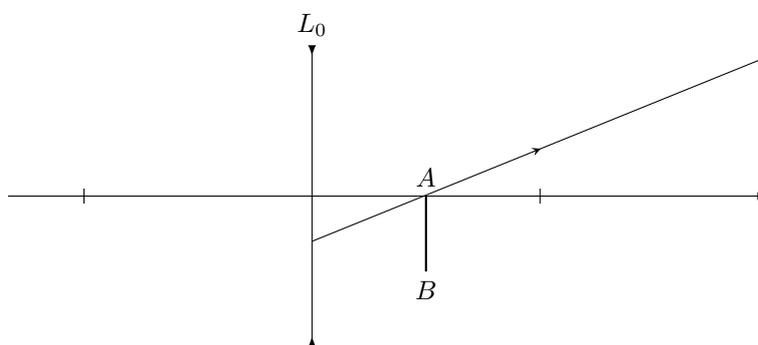


FIGURE 6 : Objet virtuel

- ↪ Placer F et F'
- ↪ Construire le rayon incident correspondant au rayon émergent passant par A .
- ↪ En déduire la position de l'image de A par L_0 .

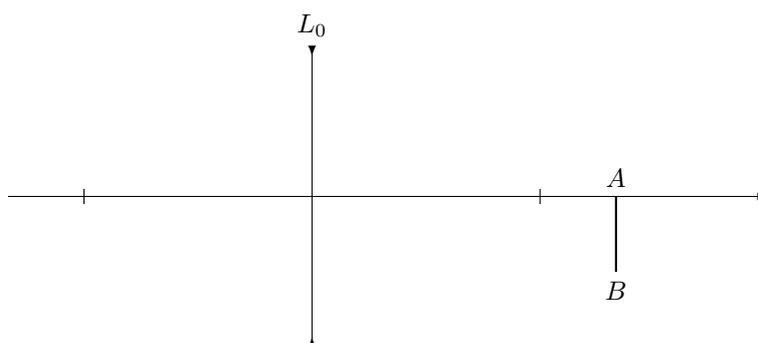


FIGURE 7 : Objet virtuel n°2

- ↪ Placer F et F'
- ↪ Construire l'image de AB par L_0