

LUNETTE ASTRONOMIQUE

Données :

Distance Terre-Soleil : $d_{TS} = 150.10^6$ km

Distance Jupiter-Soleil : $d_{JS} = 780.10^6$ km

Constitution de la lunette

La lunette astronomique ETX70 de la marque MEADE peut être modélisée comme l'association d'une lentille L_1 (l'objectif) de distance focale $f'_1 = 350$ mm de diamètre $D = 70$ mm, et d'une deuxième lentille L_2 (l'oculaire) de distance focale $f'_2 = 20$ mm.



FIGURE 1 – : à gauche lunette ETX70, à droite objectif de l'ETX70.

- Q1 1. Justifier pourquoi la lunette doit constituer un système afocal.
- Q2 2. En déduire la distance entre L_1 et L_2 .
- Q3 3. Faire un schéma de la lunette et dessiner la marche d'un faisceau lumineux issu d'un objet situé à l'infini mais pas sur l'axe optique, les rayons arrivant alors sur l'objectif en faisant un angle α avec l'axe optique.
- Q4 4. Calculer la valeur du grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ où α' est l'angle que forment les rayons avec l'axe optique en sortie du système.
- Q5 5. Situer le cercle oculaire (défini par l'image de l'objectif à travers L_2) et calculer son diamètre d . On attend une expression littérale ainsi qu'une valeur numérique.
- Q6 6. Deux astronomes amateurs souhaitent acheter la « meilleure » lunette ou le « meilleur » télescope. L'un souhaite observer le ciel profond, c'est-à-dire des objets peu lumineux et assez étendu (galaxies, nébuleuses, amas d'étoiles). L'autre souhaite observer la lune et les planètes du système solaire. On donne ci-dessous les valeurs f'/D de la distance focale sur le diamètre de différents instruments. Conseiller au mieux ces deux astronomes. Les résultats obtenus aux questions précédentes restent valables dans le cas d'un télescope. De plus, ces derniers possèdent un diamètre d'entrée D plus grand que celui des lunettes.

Appareil	$\frac{f'}{D}$
Lunette astronomique	15
Télescope Schmidt-Cassegrain	10
Télescope Newton	8
Télescope Dobson	4

Amélioration de la lunette



FIGURE 2 – : deux lentilles de Barlow. Celle de gauche augmente le grossissement d’un facteur 2, celle de droite d’un facteur 3.

1. Une façon d’augmenter le grossissement de la lunette est d’ajouter entre l’objectif et l’oculaire une lentille divergente, appelée lentille de Barlow (Physicien anglais né le 13 octobre 1776 à Norwich et mort le 1er mars 1862 à Woolwich). On note f'_b la distance focale de la lentille de Barlow. On définit également le tirage s comme la distance entre la lentille de Barlow et F'_1 , le foyer principal image de l’objectif. Montrer que le grandissement de la lentille de Barlow est lié à s par la relation :

Q7

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{s}{f'_b}}$$

2. Où doit se trouver le foyer principal image de l’ensemble {objectif + Barlow} pour que la lunette soit afocale ?
3. Montrer que si le foyer principal de l’ensemble {objectif + Barlow} est confondu avec le foyer objet de la lentille de Barlow alors $s = -\frac{1}{2}f'_b$.
4. En déduire le grandissement de la lentille de Barlow dans cette configuration.
5. Quels peuvent être les avantages et inconvénients d’une lentille de Barlow ?

Q8

Q9

Q10

Q11

Astrophotographie

On utilise désormais la lunette munie d’une lentille Barlow x3 comme téléobjectif dans le but de photographier Jupiter. Pour cela, on remplace l’oculaire par un boîtier d’appareil photo (PENTAX K-5 II). On donne ci-dessus un extrait de la notice du capteur.

Type	Capteur CMOS, avec filtre couleur
Taille du capteur	23,6mm x 15,7mm
Définition effective	Environ 16,3 mégapixels
Photo	JPEG : 16M (4928 x 3264)



FIGURE 3 – : photographie de Jupiter, le repère fait 10 pixels de large.

- Q12 1. À partir de la documentation de l'appareil, calculer la taille d'un pixel du capteur.
- Q13 2. Le gros disque lumineux visible sur la photographie de la figure 3 est Jupiter. La photographie a été sur-exposée (aucun détail n'est visible à la surface de Jupiter). Quel(s) réglage(s) doit-on effectuer sur l'appareil photo pour corriger ce problème ?
- Q14 3. **Question non guidée :** La photographie de la figure 3, a été prise en utilisant une lentille de Barlow x3 pendant l'été 2019, période où la Terre et Jupiter étaient en conjonction (c'est-à-dire à une distance minimale l'une de l'autre). Que vaut le diamètre de Jupiter ?
- Q15 4. **Questions bonus :** Que sont les points lumineux visibles de part et d'autre de Jupiter ? Pourquoi Jupiter a été surexposé ?

GUIRLANDE ÉLECTRIQUE

On désire fabriquer une guirlande constituée de N ampoules à incandescence identiques. On cherche à savoir s'il est préférable de les assembler en série ou bien en dérivation.

Du point de vue électrique, chaque ampoule peut être vue comme une résistance R . La guirlande est alimentée par un générateur de tension possédant une force électromotrice valant E et une résistance interne non nulle r . On considère deux situations : le cas A où les ampoules sont toutes branchées en série avec le générateur, et le cas B où elles sont toutes branchées en parallèle. Pour un générateur et des ampoules donnés, on se demande quelle configuration parmi A et B permet aux ampoules de briller le plus fort.

- Q16 1. Rappeler comment modéliser le générateur par une représentation de Thévenin.
- Q17 2. Faire un schéma du circuit électrique dans les deux situations A et B .
- Q18 3. A quelle(s) grandeur(s) électrique(s) est reliée la luminosité d'une ampoule à incandescence ?
4. Exprimer en fonction de E , r et R l'intensité du courant circulant à travers une seule lampe...
- Q19 (a) dans la configuration A
- Q20 (b) dans la configuration B
- Q21 5. Montrer que, suivant la valeur de r et R , la configuration qui permet aux ampoules de briller le plus n'est pas la même.
- Q22 6. **Question d'observation :** Indépendamment des questions précédente, quelle configuration a été utilisée pour la guirlande de la figure 1 ?

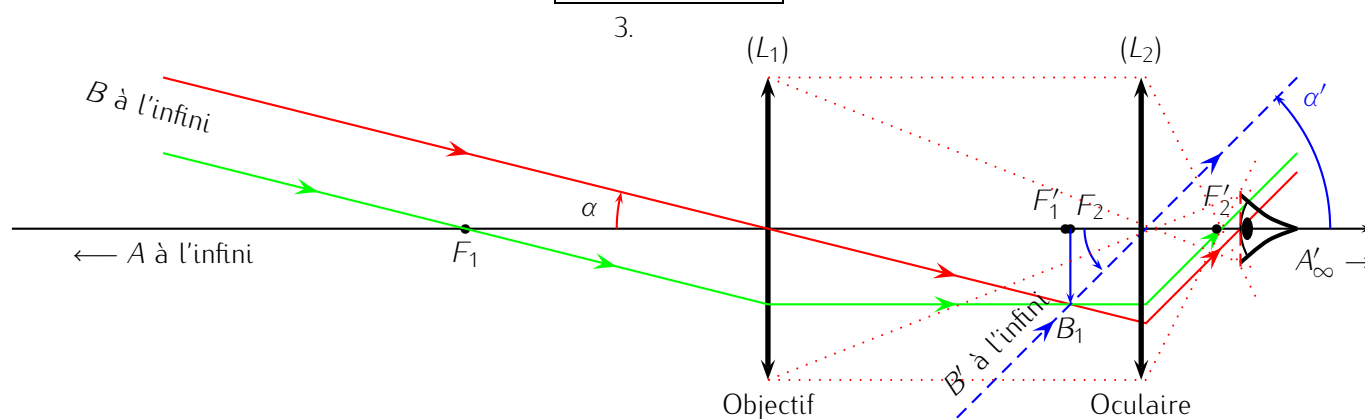


FIGURE 1 – guirlande électrique composée d'ampoules à incandescence.

LUNETTE ASTRONOMIQUE

0.1 Constitution de la lunette

1. La lunette est utilisée pour observer des objets qui sont à des distances très grandes devant les distances focales des lentilles, on les considère alors comme étant à l'infini. On souhaite également observer ces objets à travers la lunette sans se fatiguer, c'est-à-dire sans avoir à accommoder. Il faut donc que l'image à travers la lunette se trouve à l'infini.
2. La distance entre les deux lentilles doit-être $f'_1 + f'_2 = 370 \text{ mm}$.



4. Dans le triangle $O_1F_2B_1$, on a $\tan \alpha = \frac{\overline{F_2B_1}}{f'_1}$. De même dans le triangle $O_2F_2B_1$, on trouve $\tan(\alpha') = -\frac{\overline{F_2B_1}}{f'_2}$. Comme souvent en optique, il faut bien faire attention aux signes des différentes grandeurs que l'on manipule. Ici, $\tan(\alpha) > 0$ alors que $\overline{F_2B_1} < 0$. L'étude de la lunette est faite dans les conditions de Gauss, on peut supposer que : $\alpha \ll 1 \text{ rad}$ et $\alpha' \ll 1 \text{ rad}$, dans ce cas $\tan \alpha \simeq \alpha$ et $\tan \alpha' \simeq \alpha'$. On trouve alors que $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = -\frac{f'_1}{f'_2} = -17,5$. On remarque que ce grossissement est négatif, ce qui signifie que l'image est inversée, ce qui n'est pas gênant dans le cas d'une lunette astronomique (il n'y a ni haut ni bas dans le

ciel!). De plus, on constate que ce grossissement est plus grand que 1 en valeur absolue, ce qui est bien conforme à ce que l'on attendait.

Le calcul du grossissement d'une lunette astronomique est un calcul très classique qu'il faut bien maîtriser pour les concours.

5. Notons C , l'image de O_1 par la lentille L_2 . On peut trouver la position de C en appliquant la relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{\overline{O_2C}} - \frac{1}{\overline{O_2O_1}} = \frac{1}{f'_2}$, on obtient alors : $\overline{O_2C} = \frac{\overline{O_2O_1}f'_2}{\overline{O_2O_1} + f'_2} = \frac{(f'_1 + f'_2)f'_2}{f'_1} = 21 \text{ mm}$.

On remarque que le cercle oculaire est quasiment dans le plan focal de l'oculaire, on pouvait s'attendre à un tel résultat puisque l'objectif est loin devant ce dernier ($\overline{O_1O_2} = 370 \text{ mm}$ alors que $f'_2 = 20 \text{ mm}$).

Notons D' la taille du cercle oculaire, alors : $\frac{D'}{D} = |\gamma| = \left| \frac{\overline{O_2C}}{\overline{O_2O_1}} \right|$. On obtient alors :

$$D' = D \frac{f'_2}{f'_1} = \frac{D}{|G|} = 4 \text{ mm}$$

On remarque que le cercle oculaire est de la même dimension que la pupille de l'observateur.

6. À partir de l'expression du grossissement, on remarque que plus la distance focale de l'objectif est élevée et plus le grossissement est important. On peut donc penser qu'il est préférable de prendre un instrument avec la plus grande distance focale. Cependant, le but d'une lunette n'est pas uniquement de grossir les objets que l'on observe, mais aussi de les rendre plus lumineux. Une lunette, ou un télescope, doit donc capter le plus possible de rayons lumineux et donc avoir un diamètre d'objectif le plus grand possible. Afin de conseiller au mieux les deux astronomes amateurs, il faut comparer les objets que chacun souhaite observer. Les planètes du système solaire ou la lune sont des objets de petite taille mais très lumineux (on peut penser à Vénus qui est bien reconnaissable au levé ou au coucher du Soleil), dans ce cas on privilégiera un fort grossissement, et donc une lunette astronomique. À l'inverse, les objets du ciel profond sont plutôt étendus mais d'une luminosité très faible (on peut penser à la galaxie d'Andromède bien visible à l'œil nu sous la forme d'une grande tache grisâtre dans le ciel de la fin de l'été). Dans ce cas, on conseillera plutôt d'avoir un instrument de grand diamètre (un télescope de type Dobson par exemple).

0.2 Amélioration de la lunette

- Schématiquement $A_\infty - (L_1) \rightarrow F'_1 - (L_b) \rightarrow F_2 - (L_2) \rightarrow A'_\infty$ où L_b est la lentille de Barlow. Les relations de conjugaison de Descartes appliquées à la lentille de Barlow donne : $1 \frac{1}{\overline{O_bF_2}} - \frac{1}{\overline{O_bF'_1}} = \frac{1}{f'_b}$ et $\gamma = \frac{\overline{O_bF_2}}{\overline{O_bF'_1}}$. Or $\overline{O_bF'_1} = s$, on trouve alors : $\overline{O_bF_2} = \frac{sf'_b}{f'_b + s}$ et $\gamma = \frac{f'_b}{f'_b + s} = \frac{1}{1 + \frac{s}{f'_b}}$.
- L'objet étant à l'infini, son image se forme sur le foyer image de l'ensemble {Objectif + Barlow}, et pour obtenir un système afocal, ce foyer doit être confondu avec le foyer objet de l'oculaire.
- Si son foyer objet est confondu avec le foyer image {Objectif + Barlow} alors $\overline{O_bF_2} = -f'_b$. D'après les relations de conjugaison de Descartes, $\overline{O_bF_2} = \frac{sf'_b}{f'_b + s} = -f'_b$. Soit $\frac{f'_b + s}{s} = 1$ d'où $s = -\frac{1}{2}f'_b$.
- En remplaçant dans la formule précédente on trouve alors $\gamma = 2$.
- Cette lentille a un avantage clair, elle permet d'augmenter le grossissement de l'instrument par 2. Par contre, le fait de rajouter une lentille augmente le nombre de dioptries que la lumière doit traverser. Ainsi la luminosité sera diminuée et les risques d'aberrations géométrique et chromatiques augmentés.

0.3 Astrophotographie

- Le capteur possède 4928 pixel en largeur pour 23,6 mm, ainsi un pixel mesure 4,8 μm de large. Il mesure également 4,8 μm de haut.

2. Pour diminuer la luminosité, on peut diminuer le temps de pause.
3. On peut mesurer sur la photographie un diamètre d'environ 50 pixels pour Jupiter. Or, d'après la documentation, le capteur possède des pixels carrés de $4,8 \mu\text{m}$ de côté. Ainsi, Jupiter forme un disque de diamètre $d = 0,24 \text{ mm}$ sur le capteur. Il est donc vu sous un angle $\alpha = \frac{d}{d_{JS} - d_{TS}} \approx 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$. On en déduit un diamètre de

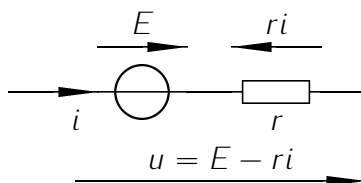
$$d_J = \alpha(d_{JS} - d_{TS}) = 1,4 \cdot 10^5 \text{ km}$$

. Des mesures plus précises du diamètre de Jupiter donnent $139\,820 \text{ km}$.

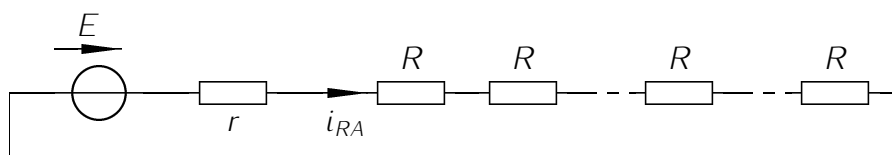
4. Les points lumineux de part et d'autre de Jupiter sont les quatre satellites galiléens de Jupiter (Io, Ganymède, Europe, Callisto). La photo a été surexposée pour distinguer ces satellites.

GUIRLANDE ÉLECTRIQUE

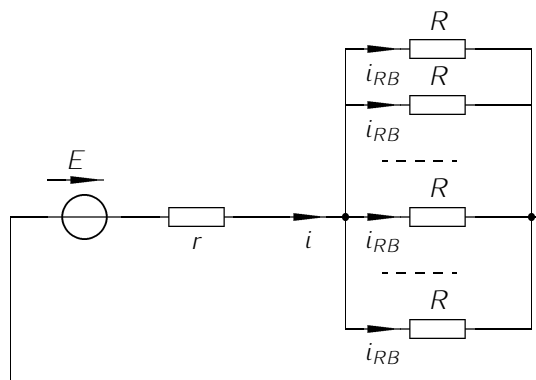
1. Un générateur réel peut être modélisé comme l'association en série d'un générateur idéal de tension avec une résistance (modèle de Thévenin).



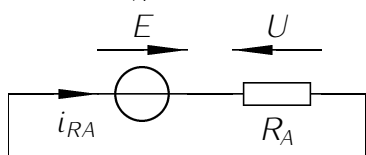
2. Situation A :



Situation B :



3. La luminosité dépend de la puissance P dissipée par effet Joule dans le filament de l'ampoule. En notant i_R l'intensité parcourue dans l'une des lampes, la loi d'Ohm permet d'écrire $P = Ri_R^2$. Ainsi, l'ampoule brille plus fort si elle est parcourue par un courant plus grand.
4. (a) Dans la situation A toutes les résistances sont en série. Elles sont donc équivalentes à une seule résistance $R_A = r + NR$ et le circuit se résume à :

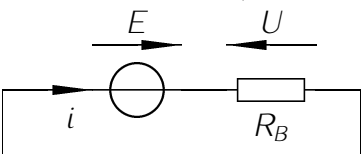


La loi des mailles donne $E - U = 0$ or $U = R_A i$, ainsi $i = \frac{E}{R_A}$ soit

$$i_R = \frac{E}{r + NR}$$

- (b) Dans la situation *B* les lampes sont en dérivation, elles sont équivalente à un résistor de résistance $\frac{R}{N}$.

Ainsi, le circuit se résume à :



avec $R_B = r + \frac{R}{N}$. On trouve, de la même manière qu'à la question précédente $i = \frac{E}{r + \frac{R}{N}}$. Le courant i_{RB} circulant à travers une résistance s'obtient en appliquant le théorème des diviseurs de courant :

$$i_{RB} = \frac{i}{N} = \frac{E}{Nr + R}$$

5. Il suffit de comparer i_{RA} et i_{RB} . Si $i_{RA} > i_{RB}$ alors : $\frac{E}{r + NR} > \frac{E}{Nr + R}$ donc $Nr + R > r + NR$ et si $N > 1$ alors $r > R$. Ainsi, si $r > R$ les lampes brillent le plus lorsqu'elle sont en série. À l'inverse, si si $r < R$ les lampes brillent le plus lorsqu'elle sont en dérivation.
6. On remarque sur la photo qu'une des lampes est éteinte alors que les autres fonctionnent. On peut conclure qu'elle sont branchées en dérivation.