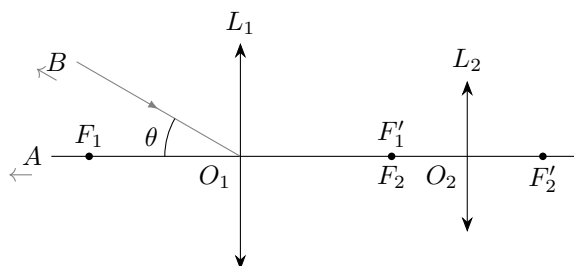


## DS3 : Optique et quantique

Durée 2h, calculatrices autorisées. Le DS est probablement trop long pour que vous puissiez tout faire, c'est normal, faites-en le maximum.

### Exercice 1 : LUNETTE ASTRONOMIQUE (TD2)

Une étoile  $AB$  située à l'infini est vue depuis la Terre à un diamètre apparent  $\theta$ . On l'observe à travers une lunette astronomique constituée d'une lentille convergente  $L_1$  de longueur focale  $f'_1$  et une lentille convergente  $L_2$  de longueur focale  $f'_2$ . Les points  $F'_1$  et  $F_2$  sont confondus.



- Tracez l'image  $A_1B_1$  de l'étoile formée par la lentille  $L_1$ . Où se trouve-t-elle ?
- Tracez l'image  $A'B'$  de l'étoile formée par la lentille  $L_2$ . Où se trouve-t-elle ?
- Quel est le diamètre apparent  $\theta'$  de l'étoile lorsqu'elle est vue à travers la lunette ?
- Quel est le grossissement  $G = \theta'/\theta$  de la lunette dans l'approximation  $\theta \ll 1$ .
- A.N. : Sous quel angle voit-on une étoile dont le diamètre apparent  $\theta$  est de une minute d'angle ( $1' = 1/60^\circ$ ) lorsqu'elle est vue à travers une lunette dont  $f'_1 = 1$  m et  $f'_2 = 0,5$  cm ?

### Exercice 2 : L'APPAREIL PHOTO NUMÉRIQUE

On modélise un appareil photo numérique par un objectif assimilable à une lentille mince convergente  $L$  de distance focale image  $f' = 55$  mm. Le capteur  $C$  de l'appareil photo se trouve à une distance  $d$  de la lentille.

On rappelle la formule de conjugaison permettant de relier la position de l'image  $A'$  d'un point objet  $A$  formée par une lentille de centre  $O$  et de distance focale image  $f'$  :

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

- Faire un schéma de l'appareil photo ainsi modélisé en faisant apparaître un objet et son image sur le capteur. Expliquer succinctement son fonctionnement.
- Où doit-on placer l'objectif par rapport au capteur pour obtenir une image nette d'un objet très éloigné ? On dit alors que l'objectif est réglé sur l'infini.
- On souhaite maintenant produire une image nette sur le capteur d'un objet qui se situe à 1,20 m de la lentille, quelle doit être alors la distance  $d$  ?
- Expliquer comment on procède pour *faire la mise au point* avec cet appareil.
- On photographie une tour de 50 m de hauteur située à une distance de 100 m. Calculer la hauteur de l'image de la tour sur le capteur.
- Le capteur a la forme d'un rectangle de hauteur  $a = 24$  mm et de largeur  $b = 36$  mm. Calculer la hauteur maximale d'un objet situé à une distance de 100 m pour que son image soit entièrement sur le capteur. (l'appareil photo est tenu horizontalement)
- On ajoute juste après la lentille un diaphragme circulaire qui limite la taille du faisceau entrant dans la lentille. Quelle est l'influence de la taille du diaphragme sur l'image projetée sur le capteur ?
- L'objectif étant réglé sur l'infini, un point  $A$  de l'axe optique à une distance  $AO$  finie de l'objectif ne produit pas sur l'écran une image nette mais une tache. Faire un schéma qui le montre. À quelle condition sur la taille de cette tache, l'image enregistrée par le capteur restera-t-elle nette ?
- Les pixels du capteur de l'appareil sont des carrés d'environ  $10\text{ }\mu\text{m}$  de côté. Calculer la distance minimale  $A_0O$  pour laquelle l'image enregistrée restera nette. Pour un diaphragme dont l'ouverture est de 20 mm puis pour une ouverture de 5 mm

10. Lorsque l'objectif fait la mise au point sur un point A de l'axe optique, la distance  $\Delta D$  autour de A sur laquelle un objet produira une image nette s'appelle la *profondeur de champ*. Comment évolue la profondeur de champ en fonction de l'ouverture du diaphragme ?
11. La série de photographies représentée sur la figure 1 a été prise avec le même appareil photo en changeant uniquement l'ouverture du diaphragme. Pour quelle photo le diaphragme est-il le plus ouvert ? le plus fermé ?



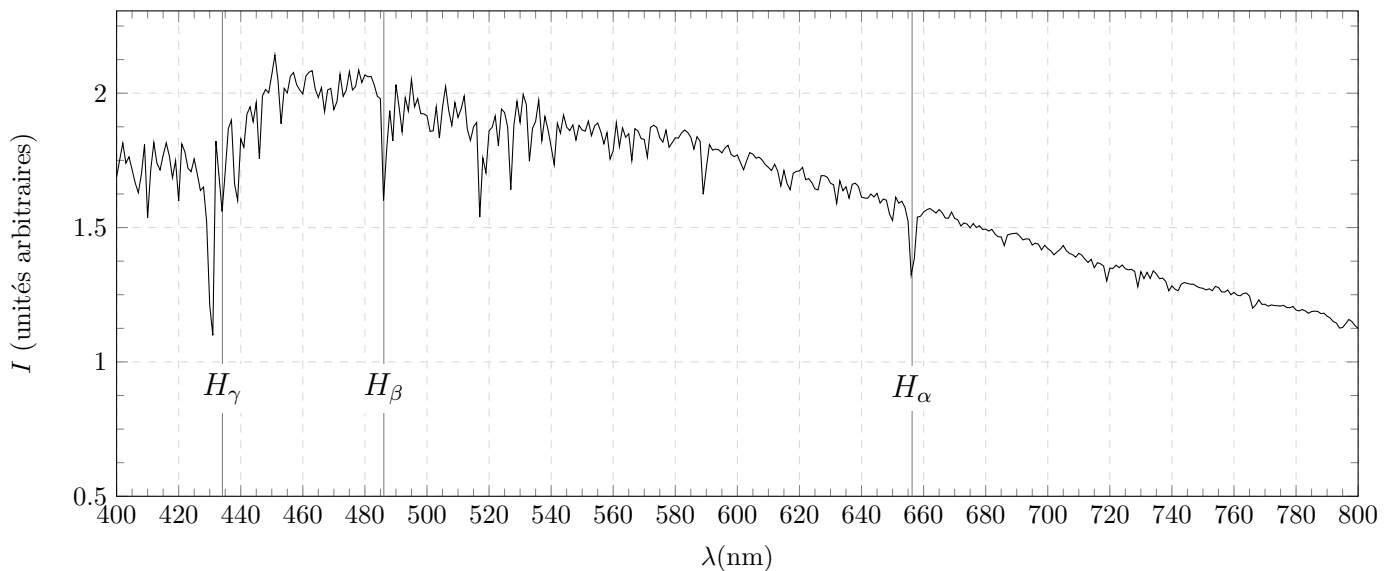
FIGURE 1 – Série de photos prises avec des ouvertures différentes

### Exercice 3 : SPECTRE SOLAIRE

Un atome d'hydrogène est constitué d'un seul électron autour d'un noyau constitué d'un proton. Les orbites permises pour l'électron ont des énergies :

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad n \in \mathbb{N}^*$$

Où  $E_1 = -13,6 \text{ eV}$  est l'énergie du niveau de plus basse énergie de l'atome d'hydrogène.



Le graphique ci-dessus représente la partie visible du spectre solaire reçu au dessus de l'atmosphère terrestre. Théoriquement, ce spectre devrait être lisse, mais on remarque que pour certaines fréquences il présente des *creux*. Ces *creux* correspondent à l'absorption par son atmosphère, de la lumière émise par le Soleil.

Sur le graphique on a indiqué la position de trois raies correspondant à l'absorption par les atomes d'hydrogène ( $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  et  $H_\gamma$ ).

1. Représenter les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène sur un axe.
2. Donner les valeurs des énergies en Joules puis en eV des photons correspondant aux trois raies de l'hydrogène  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  et  $H_\gamma$ .
3. Montrer que la longueur d'onde  $\lambda$  d'un photon est reliée à son énergie  $E$  par :

$$\lambda = \frac{hc}{E} \quad (1)$$

4. Montrez que la longueur d'onde  $\lambda$  dans le vide d'un photon émis par un atome d'hydrogène lors d'une transition d'un niveau d'énergie  $E_n$  vers un niveau d'énergie  $E_{n'}$  peut se mettre sous la forme :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Exprimez  $R$  en fonction de  $h$ ,  $c$  et  $E_1$ .  $R$  s'appelle la constante de Rydberg. Donnez la valeur numérique de  $R$ .

5. Quelle est la longueur d'onde maximale d'un photon émis lors d'une transition vers le niveau  $E_1$  ? Dans quelle gamme spectrale se trouve-t-il ?
6. Quelle est la longueur d'onde minimale d'un photon émis lors d'une transition vers le niveau  $E_3$  ? Dans quelle gamme spectrale se trouve-t-il ?
7. En déduire que seules les transitions vers le niveau  $E_2$  peuvent produire des photons visibles.
8. Déterminer à quelles transitions correspondent les raies  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  et  $H_\gamma$ .

On donne :  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  Js,  $c = 3 \times 10^8$  m/s,  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}$  J.

---

**Exercice 4 : UN PETIT PROBLÈME**

Jim dirige son pointeur laser vert vers la Lune où se trouve son ami Bob. Sachant qu'un œil humain à besoin d'un flux minimum de 150 photons/s pour détecter une lumière verte, Bob pourra-t-il voir le laser de Jim ?

La réponse devra être correctement argumentée et les hypothèses faites devront être expliquées.