

DS3 : Physique quantique et Optique géométrique

Durée 3h, calculatrices autorisées. Le DS est probablement trop long pour que vous puissiez tout faire, c’est normal, faites-en le maximum. Vous pouvez faire l’exercice 5 sur l’énoncé, **n’oubliez pas** de le rendre avec votre copie !

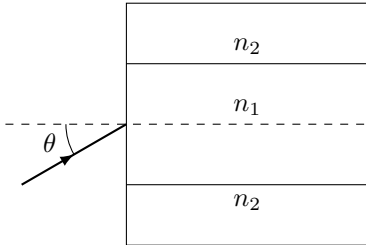
On rappelle la formule de conjugaison pour une lentille sphérique mince :

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

où  $O$  est le centre optique de la lentille,  $A$  et  $A'$  sont des points objet et image situés sur l’axe optique, et  $f'$  est la distance focale image de la lentille.

Exercice 1 : FIBRE OPTIQUE À SAUT D’INDICE

Une fibre optique à saut d’indice est composée d’un cœur d’indice  $n_1$  entouré d’une gaine d’indice  $n_2$ . On considère un rayon qui entre dans le cœur de la fibre avec un angle d’incidence  $\theta$ .



1. Quelle condition doit-on avoir sur  $n_1$  et  $n_2$  pour qu’il puisse y avoir réflexion totale à leur interface ?
2. Montrer qu’un rayon qui subit une réflexion totale reste confiné dans le cœur de la fibre.
3. Calculer l’angle d’incidence maximum  $\theta_m$  pour pour que le rayon incident reste confiné dans le cœur. Donner la valeur numérique de  $\theta_m$  pour une fibre optique en matière plastique dont  $n_1 = 1,59$  et  $n_2 = 1,46$
4. Une impulsion lumineuse incidente est formée de rayons ayant tous les angles d’incidence compris entre 0 et  $\theta_m$ . Expliquer pourquoi une impulsion extrêmement brève qui entre dans la fibre en ressort à une distance  $L$  avec une durée  $\tau$  plus longue.
5. Exprimer  $\tau$  en fonction de  $L$ ,  $n_1$  et  $n_2$ . Pourquoi cela a-t-il une influence sur le débit maximum des données transmises par la fibre ?
6. Quelle est l’influence de la longueur de la fibre sur le débit maximum des données qu’elle transporte ?

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.

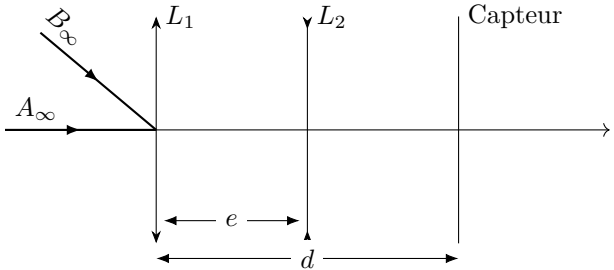
1. Faire un schéma de l’appareil photo ainsi modélisé en faisant apparaître un objet et son image sur le capteur. Expliquer succinctement son fonctionnement.
2. Où doit-on placer l’objectif par rapport au capteur pour obtenir une image nette d’un objet très éloigné ? **On dit alors que l’objectif est réglé sur l’infini**
3. 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  $d$  ?
4. Expliquer comment on procède pour *faire la mise au point* avec cet appareil.
5. 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.
6. 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)
7. 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 ?
8. 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 ?

9. Les pixels du capteur de l’appareil sont des carrés d’environ  $10\mu\text{m}$  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 photographie ci-dessous 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 ?



Exercice 3 : LE TÉLÉOBJECTIF

Un téléobjectif d’appareil photo est formé de deux lentilles minces  $L_1$  et  $L_2$  distantes de  $e = 2$  cm. La lentille  $L_1$  est convergente de distance focale image  $f'_1 = 6$  cm et la lentille  $L_2$  est divergente de distance focale objet  $f_2 = 8$  cm. Le capteur est placée à la distance  $d = 10$  cm de  $L_1$  (voir figure). Dans ces conditions l’appareil photographique est mis au point à l’infini.



1. Reproduire le schéma à l’échelle en indiquant la position des foyers principaux  $F_1, F'_1, F_2, F'_2$  des deux lentilles.
2. Un objet  $A_\infty B_\infty$  situé à l’infini est vu sous un diamètre angulaire  $\alpha$ . Construire L’image  $A_1 B_1$  formée par la lentille  $L_1$  puis l’image finale  $A_2 B_2$  formée par la lentille  $L_2$
3. Calculer la dimension de l’image  $A_1 B_1$  en fonction de  $\alpha$  et  $f'_1$ .
4. Calculer la dimension de l’image  $A_2 B_2$  en fonction de  $f'_1, f_2, e$  et  $\alpha$  (On utilisera la formule de conjugaison donnée en début d’énoncé). Faire l’application pour  $\alpha = 3 \times 10^{-4}$  rad.
5. Quelle serait la longueur focale d’une lentille convergente simple qui donnerait une image de taille identique ? Quelle devrait être alors la distance  $d$  entre la lentille et le capteur.

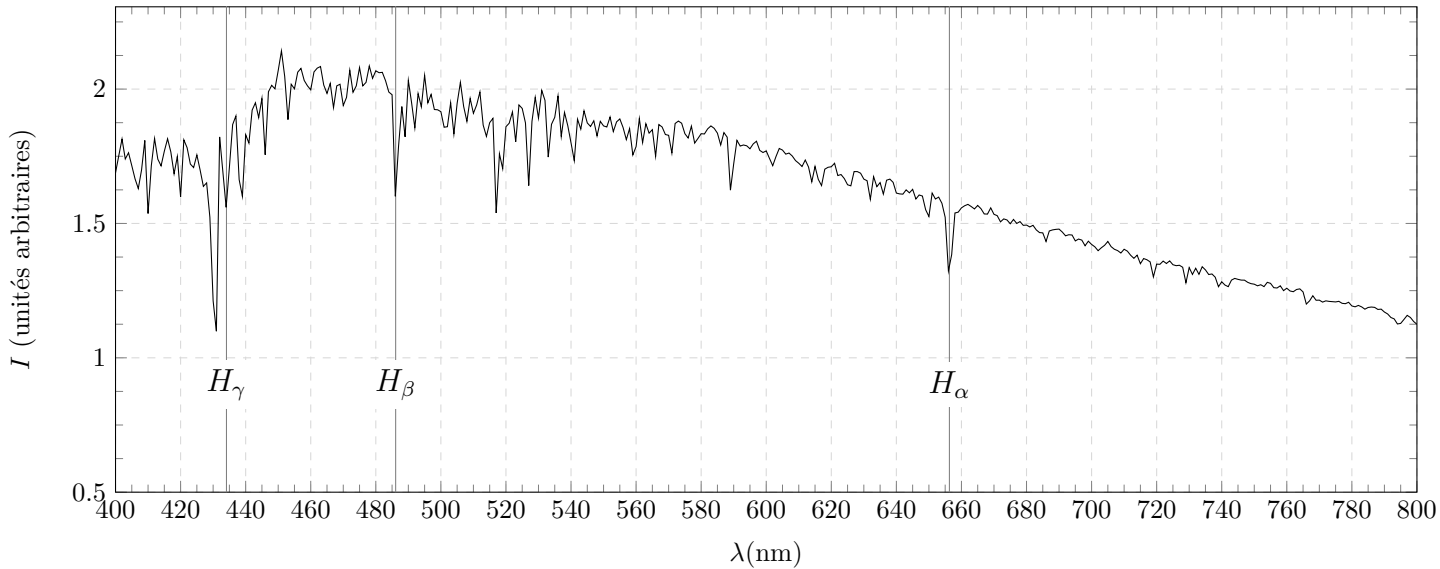
6. Conclure sur l'intérêt d'un montage de type téléobjectif relativement à son encombrement.

Exercice 4 : 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  $H_\gamma$ ).

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

$$\lambda = \frac{hc}{E} \tag{1}$$

- 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  $R$ .

- 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 ?
- 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 ?
- En déduire que seules les transitions vers le niveau  $E_2$  peuvent produire des photons visibles.
- Déterminer à quelles transitions correspondent les raies  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  et  $H_\gamma$ .

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

Exercice 5 : CONSTRUCTION DE RAYONS

Construire les rayons émergents correspondant aux rayons incidents suivants (en faisant apparaître les traits de construction)

