

PS80 : Examen intermédiaire — Vision

Durée : 2 heures — Documents et calculatrices autorisées.

1 Chambre noire (2 pts)

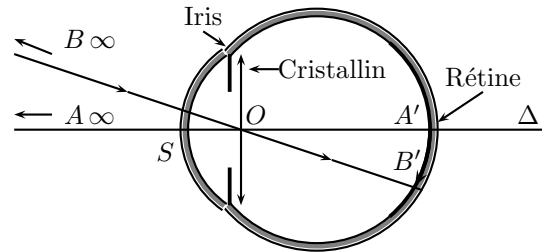
La chambre noire est formée d'une chambre parallélépipédique et sombre, percée d'un petit trou (du diamètre d'une tête d'épingle). Elle permet d'obtenir, sur la face arrière, l'image d'un objet placé devant le trou. Si la face arrière est translucide, on peut observer cette image.

1. Faites un schéma, sans considération d'échelle, de la chambre noire vue en coupe de profil, d'un objet situé devant l'ouverture et de son image sur la face arrière de la chambre.
2. L'image obtenue est floue et peu lumineuse. Si on agrandit le trou, comment évolue la luminosité de l'image ? Sa netteté ? Que peut-on ajouter pour obtenir une image nette ?

2 L'œil myope (7 pts)

Le système optique qui constitue l'œil se compose d'un dioptré sphérique à l'entrée (dont le sommet S coïncide avec celui de la cornée), d'un diaphragme (l'iris) et d'une lentille convergente (le cristallin), dans un milieu d'indice optique moyen $n \simeq 1,34$.

Dans la pratique, ce système optique est assimilable à une lentille mince convergente (le cristallin), diaphragmée (par l'iris) et située dans l'air. Les images se forment sur la rétine, située 15 mm derrière le centre optique de cette lentille (cf. schéma ci-contre).



On considère un œil "normal" : sans accommoder (c'est-à-dire œil au repos), il voit nettement les objets situés à l'infini.

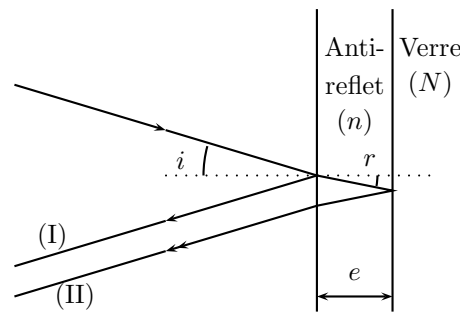
1. Quel est, dans ces conditions, la distance focale $\overline{f'}$ de la lentille convergente ?
2. On observe un immeuble de 30 m de haut situé à 500 m devant l'œil. Justifiez brièvement que cet immeuble se trouve à l'infini. Quelle est alors, sur la rétine, la grandeur de l'image de cet immeuble ?
3. Pour voir nettement un objet proche de lui, l'œil accomode (les muscles entourant l'œil agissent sur le cristallin et modifient sa courbure). Lorsqu'un objet situé à 2 m devant l'œil est vu nettement, quelle est la nouvelle valeur de la distance focale $\overline{f'}$?

On considère maintenant un œil myope, qui voit distinctement tous les objets situés devant lui entre les distances $d = 10 \text{ cm}$ (punctum proximum P_p) et $D = 10 \text{ m}$ (punctum remotum P_r). On corrige la myopie à l'aide de verres divergents assimilés à des lentilles minces de distance focale $\overline{f'}$. Un objet A situé à l'infini est vu nettement par l'œil équipé de lunettes si son image A' par le verre correcteur est amené au punctum remotum de l'œil. On suppose que l'œil est à 2 cm derrière le centre optique de la lentille correctrice.

4. Quelle doit être la distance focale $\overline{f'}$ de la lentille correctrice ? Quelle est sa vergence V ?
5. Où se trouve l'image par le verre correcteur, du point le plus proche visible nettement par l'œil corrigé ? À quelle distance de l'œil se trouve ce point ?

3 Couche anti-reflet (4 pts)

Les opticiens déposent sur la face interne des verres de lunettes un traitement anti-reflet pour éviter l'éblouissement dû aux lumières environnantes. Ce traitement consiste en une fine couche de matériau transparent d'indice élevé n . Les rayons réfléchis par l'anti-reflet d'une part, par le verre d'autre part, interfèrent (cf. schéma ci-contre).



1. Exprimez la différence de marche δ entre les chemins optiques parcourus par le rayon réfléchi (I) et le rayon réfléchi (II) en fonction de r , n et e , puis en fonction de i , n et e . Le chemin optique parcouru par la lumière dans un milieu d'indice n est le produit de la distance parcourue par la lumière et de l'indice n .
2. Le système anti-reflet - verre est éclairé sous incidence normale par une lumière verte ($\lambda = 550 \text{ nm}$). Exprimez l'épaisseur e de l'anti-reflet telle que les rayons réfléchis interfèrent destructivement, en fonction de λ , n et d'un entier k . Calculez la valeur minimale de e pour un indice $n = 2$.
3. La différence de marche δ varie avec l'angle d'incidence, ainsi la couleur du reflet change selon l'angle sous lequel on regarde le verre traité anti-reflet. Sous quelle incidence i_b arrive la lumière naturelle, si le reflet observé est bleu (couleur complémentaire : rouge, $\lambda = 600 \text{ nm}$) ?

4 Echolocation chez la chauve-souris (7 pts)

Les chauves-souris se déplacent et chassent dans l'obscurité grâce à un système d'écholocation : elles émettent des signaux ultrasonores et en exploitent les échos.

Donnée : célérité des ultrasons dans l'air $v_s = 340 \text{ m.s}^{-1}$.

1. Pour qu'un objet ou un insecte soit détectable, il doit avoir une dimension supérieure à la longueur d'onde du signal ultrasonore. Quel phénomène physique explique cette limitation ? Calculez la dimension minimale d'un insecte détectable avec un signal de fréquence $f = 30 \text{ kHz}$.
2. Une chauve-souris se dirige vers un mur perpendiculairement à celui-ci à une vitesse $v = 6,0 \text{ m.s}^{-1}$. Un signal émis lorsqu'elle se trouve à la distance $D = 3,0 \text{ m}$ du mur produit un écho qu'elle perçoit après une durée Δt .
 - a) Exprimez la distance d parcourue par la chauve-souris entre l'émission du signal et la réception de l'écho, en fonction de v et Δt .
 - b) Exprimez la distance L de propagation du signal pendant son aller-retour en fonction de D , v et Δt , et en fonction de v_s et Δt .
 - c) Déduisez des questions précédentes une équation liant D , v , v_s et Δt , puis calculez Δt .
 - d) Donnez une expression littérale de l'erreur relative commise sur la valeur de Δt en négligeant le déplacement de la chauve-souris pendant l'aller-retour du signal. Faites l'application numérique et commentez.

3. La chauve-souris perçoit sa vitesse relative par-rapport à un obstacle ou une proie grâce au décalage de fréquence du signal réfléchi par-rapport au signal émis.

- a) Rappelez quel phénomène physique est à l'origine de ce décalage de fréquence.
- b) Lorsque la chauve-souris se dirige vers un mur, l'écho perçu a-t-il une fréquence plus élevée ou plus faible que le signal émis ?
- c) On propose deux expressions pour la relation entre la fréquence perçue f_a et la fréquence d'émission f pour une chauve-souris se dirigeant vers un mur perpendiculairement à celui-ci, à la vitesse $v = 6,0 \text{ m.s}^{-1}$:

$$f_{a,1} = \frac{v_s - v}{v_s + v} f \quad ; \quad f_{a,2} = \frac{v_s + v}{v_s - v} f$$

Laquelle de ces expressions est correcte ? Justifiez brièvement.

- d) Calculez la fréquence de l'écho d'un signal émis à une fréquence $f = 60 \text{ kHz}$.
- e) Les battements d'aile d'un papillon provoquent "un décalage oscillant des fréquences par effet Doppler". Expliquez pourquoi.
- f) Pour compenser le décalage Doppler dû à l'obstacle fixe, une chauve-souris chassant un papillon en se dirigeant vers un mur doit-elle diminuer ou augmenter la fréquence de l'ultrason émis ?
- g) Question bonus : Calculez la fréquence fondamentale corrigée, sachant que la variation de fréquence du premier harmonique est de $3,0 \text{ kHz}$.

Références : les exercices de ce sujet sont extraits des ouvrages suivants : *Physique, Tle C & E*, Ed. Nathan (1989), *Physique et Chimie, Tle S*, Ed. Nathan (2012).