

Devoir surveillé de sciences physiques n°2

Les calculatrices sont autorisées.

Soignez la rédaction et la présentation.

Les exercices sont totalement indépendants.

Tout résultat donné dans l'énoncé peut être utilisé pour les questions suivantes, même si on n'a pas su le démontrer.

Ne rendez pas le sujet avec votre copie.

Exercice 1 : Arc-en-ciel secondaire



FIGURE 1 – Arc-en-ciel primaire et secondaire et bande sombre d'Alexandre

Dans de bonnes conditions de luminosité, on peut voir très clairement qu'il existe un arc en ciel secondaire situé au dessus de l'arc en ciel primaire. Cet arc secondaire est moins lumineux que l'arc primaire et l'ordre des couleurs y est inversé.

Depuis les travaux de René Descartes, on sait que cet arc secondaire est dû aux rayons du soleil qui se réfléchissent deux fois dans la goutte d'eau avant de ressortir et de parvenir à nos yeux.

On se propose ici de déterminer l'angle que font les rayons issus de cet arc avec les rayons du soleil, afin de déterminer sa position par rapport à l'arc primaire (pour lequel l'angle entre la direction du regard et celle des rayons du soleil vaut, on le rappelle, 42°).

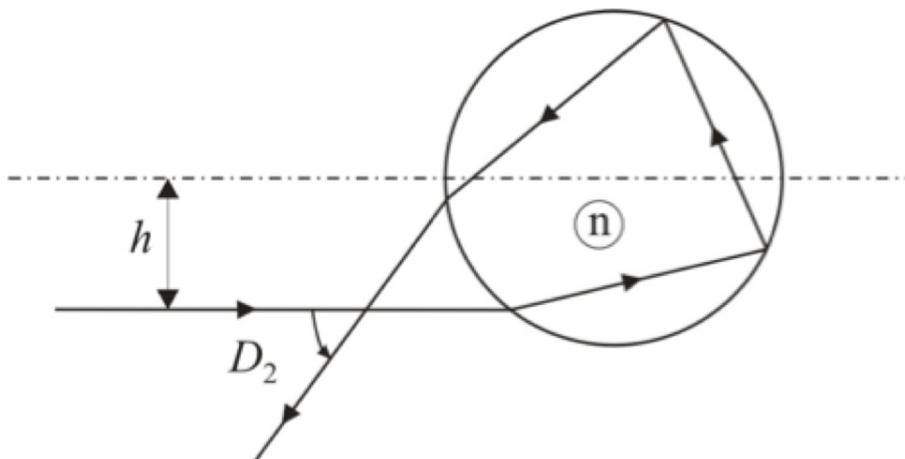


FIGURE 2 – Trajectoire des rayons lumineux responsables de l'arc-en-ciel secondaire.

- 1) Déterminer l'expression de l'angle de déviation total D_2 que subit le rayon lumineux, en fonction de l'angle d'incidence i et de l'indice n de l'eau (on considèrera que l'indice de l'air vaut 1).
- 2) Montrer que cette déviation D_2 est extrême (on admettra que cet extremum est un minimum) pour un angle d'incidence i_m tel que :

$$\sin^2(i_m) = \frac{9 - n^2}{8}$$

- 3) Sachant que l'indice moyen de l'eau dans le domaine du visible est $n \simeq 1,33$, calculer numériquement i_m . Pour cet angle, les réflexions qui ont lieu à l'intérieur de la goutte sont-elles totales ?
- 4) Expliquer pourquoi l'arc-en-ciel secondaire est vu dans la direction du minimum de déviation. En déduire la valeur de l'angle A_2 que doit faire la direction du regard avec celle des rayons du soleil pour voir l'arc-en-ciel secondaire.
- 5) On remarque sur la figure 1 que la partie du ciel située entre l'arc-en-ciel primaire et l'arc-en-ciel secondaire est particulièrement sombre. On l'appelle la "bande sombre d'Alexandre", en l'honneur du philosophe grec *Alexandre d'Aphrodise*, qui la décrit au *II^{ème}* siècle de notre ère. Expliquer la présence de la bande sombre d'Alexandre (vous vous appuyerez sur des schémas).
- 6) On donne la valeur de l'indice de réfraction de l'eau dans le violet : $n_v \simeq 1,35$ et dans le rouge $n_r \simeq 1,33$. Déterminer la valeur de l'angle $A_{2,v}$ correspondant à l'arc violet et la valeur de l'angle $A_{2,r}$ correspondant à l'arc rouge. En déduire l'ordre des couleurs dans l'arc en ciel secondaire (en allant du bas vers le haut). Ici aussi, vous ferez un schéma explicatif.

Exercice 2 : Lunette astronomique et observation de Mars

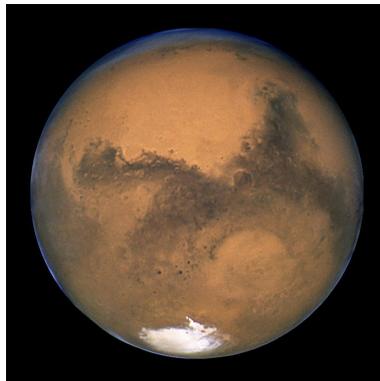


FIGURE 3 – La planète Mars, vue par le télescope spatial Hubble

- 1) Lorsqu'il passe le plus près de la Terre, Mars (dont le rayon mesure $R = 3400km$) est à une distance $D \simeq 56.10^6km$ de la Terre.
 - a) Dans ces conditions, quel est le diamètre apparent β de Mars lorsqu'on l'observe depuis la Terre (vous exprimerez β en radians puis en minutes d'arc). Compte tenu de la résolution d'un oeil humain, que verra-t-on quand on regardera Mars dans le ciel ?
 - b) Evaluer la taille de l'image de la planète Mars qui se forme sur la rétine de quelqu'un qui l'observe depuis la surface terrestre. Ce résultat est-il cohérent avec votre réponse à la question précédente ?
- 2) Pour mieux voir la planète Mars, on utilise une lunette astronomique constituée de :
 - un objectif : lentille mince convergente L_1 de distance focale f'_1
 - un oculaire : lentille mince convergente L_2 de distance focale $f'_2 < f'_1$

- a) De quelle distance d doit-on séparer les deux lentilles pour une observation sans fatigue par un oeil emmétrope ? (Vous justifierez votre réponse).
- b) Faire un schéma de la lunette en prenant $f'_1 = 5f'_2$ et construire la marche à travers la lunette de rayons issus d'un objet à l'infini dans une direction faisant un angle α avec l'axe optique.
- c) En déduire le grossissement (angulaire) G de la lunette et faire l'application numérique pour la lunette de l'observatoire de Strasbourg, pour laquelle l'objectif a une focale $f'_1 = 7m$ et l'oculaire une focale $f'_2 = 80mm$.
- d) Quelle est la taille de l'image de Mars qui se forme sur notre rétine lorsqu'on observe cette planète à travers la lunette de l'observatoire de Strasbourg ?
- 3) Pendant qu'une personne emmétrope observe la planète Mars à travers une lunette astronomique, une mouche passe devant l'oculaire. On se demande ce que va observer la personne. En reprenant $f'_1 = 5f'_2$ comme sur votre premier dessin, et en supposant que la mouche est un objet AB situé entre l'objectif et son plan focal objet, construire (en vous appliquant) l'image de la mouche à travers le système optique. Que verra la personne (en supposant qu'elle place son oeil tout près de l'oculaire) ?
- 4) La lunette est à présent utilisée par une personne myope dont le punctum remotum est situé à une distance $d_{PR} = 20cm$.
- a) Pour que cette personne puisse utiliser la lunette astronomique sans porter ses lunettes de vue, quelle doit être (en fonction de f'_1 et f'_2) la nouvelle distance O_1O_2 entre l'objectif et l'oculaire.
- b) Application numérique : pour la lunette de l'observatoire de Strasbourg, de combien doit-on faire varier la distance O_1O_2 entre une utilisation par une personne emmétrope et la personne myope considérée.
- 5) Le principal défaut des lunettes astronomiques est appelé défaut d'*aberrations chromatiques*. Expliquez brièvement l'origine de ce défaut et ses conséquences. Pour quelle raison un télescope n'a-t-il pas ce défaut ?
- 6) On veut augmenter le grossissement de la lunette et remettre l'image à l'endroit. Pour cela, on interpose entre L_1 et L_2 une lentille convergente L_3 de distance focale f'_3 . L'oculaire L_2 est déplacé pour que le système donne de la planète une image finale à l'infini.
- a) Quel couple de points doit conjuguer L_3 pour qu'il en soit ainsi ?
- b) On appelle γ_3 le grandissement de la lentille 3. Exprimer $\overline{O_3F'_1}$ en fonction de f'_3 et de γ_3 .
- c) Faire un schéma (on placera O_3 entre F'_1 et F_2 et on appellera $\overline{A'B'}$ la première image intermédiaire et $\overline{A''B''}$ la seconde image intermédiaire.
- d) En déduire le nouveau grossissement G' en fonction de G et γ_3 . Comparer à G , en norme et en signe.

Exercice 3 : Défauts d'accommodation de l'oeil



FIGURE 4 – Objets vus à travers deux verres de lunettes différents

L'un des deux verres de lunettes photographiés ci-dessus est utilisé par une personne myope tandis que l'autre est utilisé par une personne hypermétrope. Lequel est lequel ? Vous justifierez votre réponse par des constructions géométriques précises.

Exercice 4 : Deux techniques expérimentales d'optique

1) L'autocollimation

La méthode d'autocollimation permet de déterminer rapidement la distance focale d'une lentille convergente. Donnez le protocole expérimental permettant de mesurer la focale d'une lentille par autocollimation, et justifiez la méthode par une construction géométrique.

2) La réfractométrie

Un *réfractomètre* est un appareil très utilisé en chimie, permettant de mesurer l'indice de réfraction d'un liquide transparent (ce qui est une façon pour les chimistes de déterminer de quel liquide il s'agit).

Le principe est le suivant : pour déterminer l'indice de réfraction n du liquide, on dépose une goutte de ce liquide sur la face supérieure horizontale d'un parallélépipède rectangle en verre, d'indice $n_v > n$. Le dispositif est placé dans l'air, dont l'indice sera pris égal à 1. On éclaire une des faces latérales verticales avec un faisceau lumineux et on note i l'angle d'incidence des rayons sur cette face.

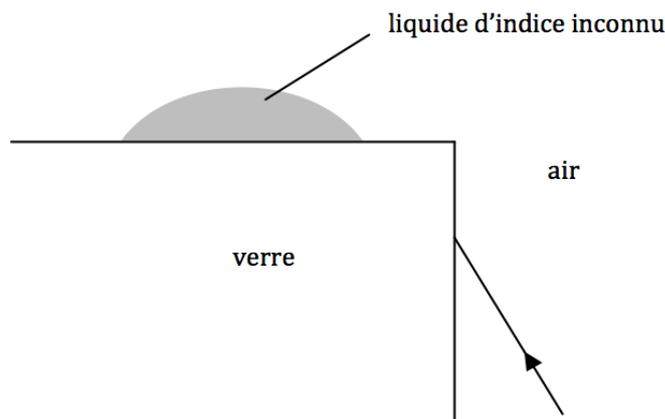


FIGURE 5 – Principe de fonctionnement d'un réfractomètre

- 1) Dessiner (approximativement) le trajet du rayon lumineux dans le cas où le rayon est réfracté dans le liquide.
- 2) On constate que la réfraction dans le liquide n'est possible que si i est supérieur à une valeur limite i_{lim} . Exprimer i_{lim} en fonction de n et de n_v .
- 3) Le liquide étudié est du cyclohexane et le verre utilisé pour le réfractomètre a pour indice $n_v = 1,607$. On mesure un angle limite $i_{lim} = 47,81^\circ$. En déduire l'indice de réfraction du cyclohexane.