

Examen du module Phys 102
 "Lumière, images et couleurs"
 Seconde session du 20 juin 2018

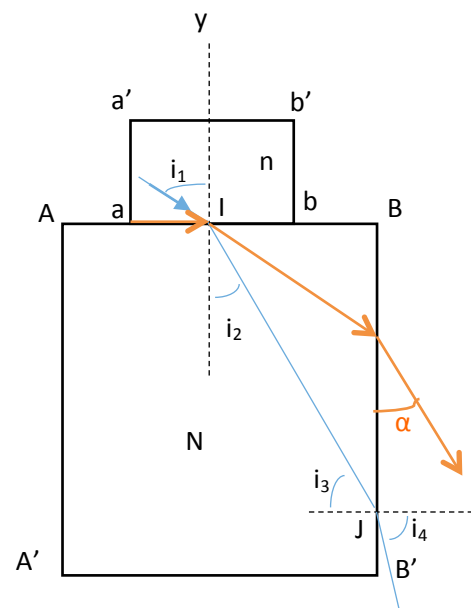
CORRIGE

Exercice 1 : Réfractomètre de Pulfrich sur 6

Un prisme de verre d'indice N a la forme d'un parallélépipède rectangle dont la section droite est $ABB'A'$. Sur la face supérieure AB est disposée une cuve sans fond, de section $abb'a'$ dans le même plan que $ABB'A'$, et contenant un liquide d'indice $n < N$. On étudie les rayons lumineux situés dans le plan contenant $ABB'A'$ (voir figure 1 ci-contre). L'ensemble est dans l'air (on considère l'indice de l'air égal à 1).

On éclaire le dispositif avec un faisceau de lumière monochromatique, de sorte que les rayons arrivent tous en I , avec des angles d'incidence variant de 0 à 90° .

Les rayons réfractés pénètrent dans le prisme en I et on s'intéresse à ceux qui sortent directement par la face BB' (par un point noté J).



1) Sur le schéma de l'annexe 1 (page 5), tracer le chemin du rayon lumineux incident passant par I représenté. Indiquer le point d'incidence J sur la face BB . Indiquer les angles i_1, i_2, i_3, i_4 correspondant respectivement à l'angle d'incidence sur I , à l'angle de réfraction en I , à l'angle d'incidence sur J et à l'angle de réfraction sur J .

1 0,5 pour rayon (avec $i_2 < i_1$ et $i_4 > i_3$) et J + 0,5 pour les angles
Voir figure ci-dessus. Comme $n < N$, alors $i_1 > i_2$. Comme $N > 1$, alors $i_3 < i_4$.

0,5 2) Ecrire la loi de Snell-Descartes concernant la réfraction en I .
 $n \sin i_1 = N \sin i_2$.

3) Donner la condition sur $\sin i_3$ pour que le rayon puisse ressortir du prisme en J et écrire la loi de Snell-Descartes en J lorsque cette condition est vérifiée.

1 $N > n_{\text{air}} = 1$ donc il y aura réfraction en J si : $\sin i_3 \leq 1/N$ et alors : $N \sin i_3 = \sin i_4$.

0,5 4) Donner la relation simple entre i_2 et i_3 .
 $i_2 + i_3 = \pi/2$

5) En utilisant les réponses aux questions précédentes, montrer que $\sin^2 i_4 = N^2 - n^2 \sin^2 i_1$.
D'après tout ce qui précède : $N \sin i_3 = \sin i_4 \Leftrightarrow N \sin (\pi/2 - i_2) = \sin i_4 \Leftrightarrow N \cos i_2 = \sin i_4$

1 $\Leftrightarrow N (1 - \sin^2 i_2)^{1/2} = \sin i_4 \Leftrightarrow \sin i_4 = N \sqrt{1 - \frac{n^2}{N^2} \sin^2 i_1} \Leftrightarrow \sin^2 i_4 = N^2 - n^2 \sin^2 i_1$.

6) Sur l'annexe 1, tracer la propagation du rayon particulier ayant une incidence rasante en I, c'est-à-dire passant par les points a et I. Appelons α l'angle que fait ce rayon sortant par la face BB' avec BB'. Indiquer α sur l'annexe 1 et montrer que $n^2 = N^2 - \cos^2 \alpha$.

Voir figure.

1 $\alpha + i_4 = \pi/2$. Alors $i_4 = \pi/2 - \alpha$; de plus quand i_4 est minimum, $i_1 = \pi/2$ (incidence rasante) donc

$$\sin i_{4\min} = \sin(\pi/2 - \alpha) = \cos \alpha = N \sqrt{1 - \frac{n^2}{N^2}} \text{ c'est à dire : } n^2 = N^2 - \cos^2 \alpha$$

0,5 pour rayon et α sur le schéma

0,5 pour démonstration

7) l'indice du prisme est $N = 1,63456$ et on mesure l'angle α que fait le faisceau sortant avec BB' : $\alpha = (51,8665 \pm 0,0083)^\circ$. Calculer n et son incertitude δn et exprimer le résultat sous la forme : $n = \dots \pm \dots$

$$n = (1,63456^2 - \cos^2 51,8665)^{1/2} = 1,5134349$$

La dérivée de n par rapport à α est $dn/d\alpha = -\cos \alpha \times \sin \alpha / (N^2 - \cos^2 \alpha)^{1/2}$

$$1 \text{ Donc } \delta n = \cos 51,8665 \times \sin 51,8665 \times 8,3 \cdot 10^{-3} \pi / 180 / (1,63456^2 - \cos^2 51,8665) = 4,65 \cdot 10^{-5}$$

(Le résultat est identique par encadrement)

0,5 pour calcul de δn

Donc $n = 1,51343 \pm 0,00005$.

0,5 pour n et écriture du résultat

Exercice 2 : Lunette sur 6

Une lunette est constituée d'une lentille **convergente L1** de distance focale f_1 constituant l'objectif, et d'un miroir plan **M**. Celui-ci est placé sur l'axe optique (O_1x) de l'objectif à la distance $d = |f_1| / 2$ de la lentille et incliné à 45° par rapport à l'axe.

O_M désigne le point où le miroir **M** coupe l'axe optique de **L1**. On cherche à former l'image de deux sources lumineuses ponctuelles A et B, situées à l'infini (très loin de la lentille). A se trouve sur l'axe optique de **L1** et les deux sources sont séparées par un petit angle $\theta \ll 1$.

θ correspond donc au diamètre apparent de l'objet AB, mesuré à partir du centre optique O_1 de **L1**.

On cherche dans un premier temps à former une image des deux objets sur l'écran (**E**) placé parallèlement à l'axe de la lunette, comme indiqué sur la figure 2.

1) Où se forment les images A_1 et B_1 des objets A et B à travers la lentille **L1** ?

Déterminer la distance $p'_1 = O_1A_1$.

1 Les images se forment dans le plan focal image de **L1** car les sources sont à l'infini. On a $p'_1 = f'_1$.

2) A_1 et B_1 constituent-ils des objets réels ou virtuels pour le miroir **M** ? Pourquoi ?

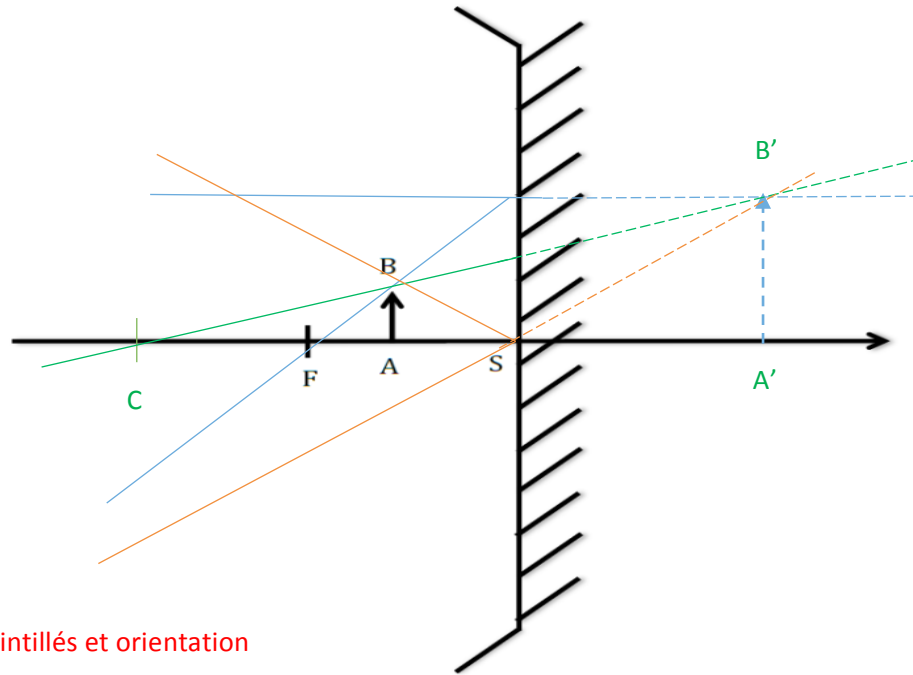
0,5 A_1 et B_1 constituent des objets virtuels pour le miroir **M** car ils sont situés après le miroir.

3) Déterminer la position de l'écran (**E**) afin d'obtenir deux images nettes A_2 et B_2 des objets A et B à travers l'ensemble objectif-miroir sur l'écran. Justifiez votre réponse et précisez la distance de l'écran jusqu'au miroir selon l'axe $O_M y$.

1 La réflexion par le miroir conserve les distances (les images A_2 et B_2 sont les symétriques de A_1 et B_1 par le miroir). L'écran doit donc être situé à la même distance du miroir que la distance entre A_1 et B_1 et le miroir, soit $f'_1/2$.

4) Sur le schéma donné page 5 en annexe 2, représenter les positions des images intermédiaires A_1 et B_1 , et celle des images finales A_2 et B_2 . Prolonger le trajet du rayon lumineux issu de B jusqu'à son image B_2 sur l'écran.

2) Réalisez sur le schéma de l'annexe 3 la construction de l'image A'B' de la dent par le miroir en traçant la propagation d'au moins 3 rayons particuliers. Indiquez sur chaque rayon tracé le sens de sa propagation avant et après réflexion.



1,5

0,25 pour chaque rayon *3
0,25 pour les traits pleins/pointillés et orientation
0,5 pour A'B'

3) Mesurez sur le schéma de l'annexe 3 la position algébrique SA de l'objet AB. À partir de la relation de conjugaison des miroirs rappelée ci-dessus, calculez la position algébrique SA' de l'image A'B'.

1

On mesure $\overline{SA} = -1,5 \text{ cm}$. 0,5
On en déduit $\overline{SA'} = 3,75 \text{ cm}$, ce qui correspond à la construction réalisée (on mesure $\sim 3,75 \text{ cm}$). 0,5

4) L'image A'B' de AB est-elle réelle ou virtuelle, droite ou inversée, plus petite ou plus grande que la dent (justifiez vos réponses) ?

1

L'image A'B' est virtuelle car située derrière le miroir. Elle est droite (de même sens que l'objet) et plus grande. 0,25 0,25 0,25 0,25

La pupille de l'œil du dentiste est représentée par le point P sur la figure de l'annexe 3.

5) Tracez la propagation du rayon issu de B, réfléchi par le miroir, et qui pénètre dans la pupille de l'œil du dentiste, assimilée à un point. Faire de même pour un rayon issu de A.

0,5

Le rayon dont la direction passe par B' et se dirigeant vers le point P ira dans l'œil du dentiste. Ce rayon s'est donc réfléchi sur le miroir en provenant de B. Le rayon issu de A et dont la direction est confondue avec l'axe optique se réfléchit sur le miroir et ira vers P en restant sur l'axe optique. L'image perçue par le dentiste est l'image A'B' virtuelle, droite, plus grande que AB.

6) Indiquez sur le schéma l'angle α' sous lequel l'œil voit l'image A'B' de la dent. Donnez l'expression de $\tan \alpha'$ en fonction des données du problème.

0,75

On note P la position de la pupille de l'œil : $\tan \alpha' = A'B'/PA'$. 0,5 + 0,25 pour α' sur le schéma

7) Mesurez sur le schéma les distances nécessaires au calcul de α' . En déduire la valeur de α' , exprimée en degrés.

0,5

On mesure $\overline{A'B'} = 2$ cm et $\overline{PA'} = \overline{PS} + \overline{SA'} = 22,7$ cm donc $\tan \alpha' = 2 / 22,7 = 0,088$ et $\alpha' = 4,9^\circ$.

Exercice 4 : Pigments et photosynthèse sur 3

Les chlorophylles sont des pigments photosynthétiques capables d'absorber l'énergie lumineuse et de la transformer en énergie chimique. La figure 4 ci-dessous présente les spectres d'absorption de 3 pigments, la chlorophylle a et b, et le bêta-carotène, obtenus avec un spectrophotomètre. Seule la chlorophylle nous intéressera dans cet exercice.

- 1) Donner les domaines de longueur d'onde correspondant à l'ultra-violet, le visible et l'infra-rouge.
Ultra-Violet : >400 nm, visible de 400 à 750 nm environ, puis infra-rouge au-delà de 750 nm.
- 2) Quelles sont les couleurs des différentes radiations absorbées par la chlorophylle a ? En déduire la couleur de la chlorophylle a quand elle est éclairée en lumière blanche. Justifiez votre réponse.
La chlorophylle a absorbe fortement dans le violet et le bleu ($400-450$ nm) ainsi que dans le rouge (680 nm). Elle réfléchit le vert (et le jaune). Eclairée en lumière blanche qui peut être représenté par une synthèse additive de rouge, vert et de bleu, elle apparaîtrait donc verte.
- 3) Quelle serait la couleur de la chlorophylle b éclairée par une lumière jaune ? Justifiez votre réponse à partir de son spectre d'absorption.
La chlorophylle b n'est pas très différente de la a du point de vue des couleurs absorbées, mais elle absorbe un peu moins le rouge. Eclairée en lumière jaune qui est une synthèse additive de rouge et de verte, elle apparaîtrait donc verte (un peu jaunie, car elle réfléchit une partie significative du rouge).
- 4) On mélange de la chlorophylle a avec un pigment rouge. Quelle est la couleur du mélange éclairé en lumière blanche (justifiez votre réponse) ? De quel type de synthèse s'agit-il ?
Si on mélange la chlorophylle a, qui absorbe toutes les radiations sauf le vert, avec un pigment rouge, qui absorbe toutes les radiations sauf le rouge, le mélange absorbera toutes les radiations et apparaîtra donc noir, et quelle que soit la lumière avec laquelle on l'éclaire. 0,5
Il s'agit d'une synthèse soustractive. 0,5