

Examen du module Phys102 « Lumière, images et couleurs »

10 janvier 2017 – de 9h30 à 11h30

La durée de l'épreuve est de 2h. Les copies doivent être rendues anonymes.

Les documents personnels (notes, poly...) sont interdits. Les téléphones portables doivent impérativement être rangés dans les sacs, en position éteinte.

La calculatrice est autorisée, mais pas les ordinateurs portables.

Le sujet comporte 3 exercices indépendants (A, B et C). Il comprend 7 pages.

Barème indicatif : A : 7,5 points ; B : 7 points ; C : 5,5 points

Les annexes (pages 5 à 7) sont à détacher et à rendre avec la copie. Veuillez recopier votre numéro d'anonymat sur chaque annexe et feuille supplémentaire.

A) Bulle d'air dans un liquide (7,5 pts)

Une bulle d'air sphérique (de centre C, de rayon R , et d'indice $n_{\text{air}} \sim 1$) est complètement immergée dans un liquide transparent d'indice $n > 1$.

Un rayon lumineux se propageant dans le liquide rencontre la bulle au point I (cf annexe 1) en formant un angle d'incidence i .

Remarque : les angles définis dans cet exercice ne sont pas orientés et sont donc toujours positifs.

- 1) Tracer le rayon réfléchi par la bulle d'air au point I sur l'annexe 1.
Faire apparaître les angles d'incidence et de réflexion sur ce schéma.
- 2) Tracer le rayon réfracté par la bulle d'air au point I sur l'annexe 1.
Faire apparaître l'angle de réfraction r sur le schéma.
- 3) Quelle relation existe-t-il entre les angles i et r ?
- 4) Le rayon réfléchi et le rayon réfracté existent-ils toujours ?
Sinon, préciser la condition que doit vérifier l'angle d'incidence i par rapport à un angle limite θ que vous exprimerez en fonction de l'indice n .

La distance entre le rayon incident sur la bulle et l'axe parallèle à ce rayon passant par le diamètre de la bulle est noté L (voir figure de l'annexe 1).

- 5) En raisonnant dans le triangle CHI, exprimer L en fonction de l'angle d'incidence i et du rayon de la bulle R .
- 6) En déduire qu'il existe un rayon réfracté lorsque la condition suivante est vérifiée :

$$L \leq L_{\theta} = \frac{R}{n}$$

On mesure expérimentalement $L_{\theta} = 1,50 \pm 0,02 \text{ mm}$ pour une bulle de 2,00 mm de rayon (on négligera l'incertitude δR).

- 7) Calculer la valeur n de l'indice du liquide et son incertitude δn , en détaillant la méthode utilisée. Ecrire le résultat sous la forme $n = \dots \pm \dots$

On se place maintenant dans le cas où $L < L_\theta$, il existe donc un rayon réfracté dans la bulle d'air à partir du point I. Ce rayon atteint à nouveau la surface de la bulle au point J. L'angle d'incidence au point d'incidence J est noté r' et l'angle de réfraction au point J est noté i' .

- 8) Représentez sur l'annexe 1 le rayon se propageant dans la bulle jusqu'au point J et sa direction lorsqu'il ressort de la bulle d'air. Faire apparaître les angles r' et i' .
- 9) En raisonnant dans le triangle CIJ, déduire comment s'exprime l'angle d'incidence r' du rayon arrivant sur le dioptre air-liquide en J, en fonction de l'angle r .
- 10) Ecrire la loi de la réfraction de Snell-Descartes appliquée au point J.
- 11) Déduire des réponses aux questions 3, 9 et 10 la relation entre i' et i .
- 12) a) Représenter la déviation totale D du rayon par la bulle d'air.
b) En exprimant la déviation subie à chaque réfraction, montrer que la déviation totale s'exprime par : $D = 2r - 2i$

B) Miroir sphérique et petite cuillère (7 pts)

On rappelle la relation de conjugaison d'un miroir sphérique utilisé dans les conditions de Gauss, où A et A' sont respectivement les points objet et image sur l'axe optique, S est le sommet du miroir sphérique, C est son centre de courbure:
$$\frac{1}{SA'} + \frac{1}{SA} = \frac{2}{SC} \quad (1)$$

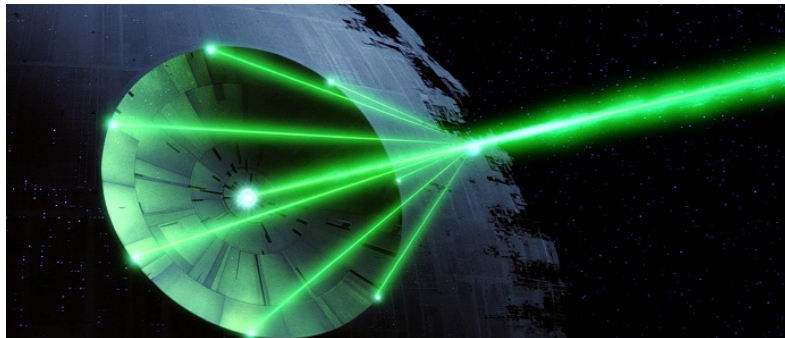
- 1) a) Donner les définitions du foyer objet F et du foyer image F' d'un système optique.
b) Appliquer les définitions des foyers F et F' dans le cas du miroir sphérique en utilisant la relation (1) pour montrer que $\overline{SF} = \overline{SF'} = \overline{SC}/2$.
c) Placer les foyers F et F' sur chacun des 3 schémas de l'annexe 2.
- 2) Pour chacun des 3 cas représentés sur l'annexe 2, effectuer la construction en traçant 3 rayons permettant de trouver la position de l'image A'B' de l'objet AB par le miroir, et caractériser l'image obtenue (sens, taille, réelle ou virtuelle).
- 3) On rappelle que le grandissement γ obtenu avec un système optique est défini par $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$, où \overline{AB} désigne la distance algébrique entre 2 points A et B de l'objet et $\overline{A'B'}$ la distance algébrique entre les points A' et B' de l'image.
En raisonnant dans les triangles CAB et CA'B' (vous pouvez raisonner à partir de n'importe laquelle des 3 constructions, le résultat sera le même), montrer que le grandissement obtenu avec un miroir sphérique peut s'écrire : $\gamma = \frac{\overline{SA'} - R}{\overline{SA} - R}$
où $R = \overline{SC}$ est le rayon de courbure algébrique du miroir sphérique.

Une personne place le creux d'une petite cuillère à 25 cm face à son œil. Cette petite cuillère est considérée comme un miroir sphérique concave de rayon de courbure $R = -2$ cm. L'œil est l'objet noté A, et A' désigne l'image de l'œil par la petite cuillère.

- 4) Grâce à la relation de conjugaison, calculer la valeur de $\overline{SA'}$.
- 5) En déduire la valeur du grandissement γ de l'image de l'œil formée par la cuillère.
- 6) Décrire alors ce que verra cette personne en regardant le reflet de son œil dans le creux de la cuillère (sens et taille de l'image).

C) Le superlaser de l'étoile de la mort (5,5 pts)

Dans Star Wars, l'étoile de la mort est une station spatiale construite par l'Empire galactique et doté d'un « superlaser », une arme capable de détruire une planète grâce à un tir de faisceaux laser. Comme on peut le voir sur l'image ci-dessous, plusieurs rayons laser sont réunis pour former un seul faisceau de rayons laser parallèles les uns aux autres. Pour mieux comprendre comment fonctionne cette arme redoutable, les forces rebelles cherchent notamment à caractériser la lentille L permettant de former ce faisceau de rayons parallèles.



Le schéma de ce dispositif est représenté sur l'annexe 3.

- 1) a) Sachant que le but de la lentille L est de faire ressortir les rayons laser parallèlement à l'axe optique (comme représenté en annexe 3), en quel point particulier les rayons qui sont dirigés vers cette lentille doivent-ils se couper ?
- b) En déduire de quel type de lentille il s'agit. Sur l'annexe 3, préciser le type de la lentille L sur le schéma et compléter la construction en faisant apparaître les foyers de la lentille L.

L'angle α est l'angle formé par les rayons laser avec l'axe optique en arrivant sur la lentille L. La largeur du faisceau parallèle obtenu avec ce dispositif est notée d .

- 2) Montrer que la relation exprimant la largeur d du faisceau de rayons parallèles en fonction de l'angle α et de f' la distance focale de la lentille L est :

$$d = 2 |f'| \tan \alpha$$

Les rebelles se sont procurés des documents issus de la conception de ce superlaser, notamment une étude de l'influence de l'angle α sur la largeur d du faisceau parallèle obtenu avec la lentille L. Ils espèrent pouvoir en déduire plus d'information sur cette lentille.

Le graphique des mesures de d en fonction de $2 \tan \alpha$ est reproduit en annexe 4.

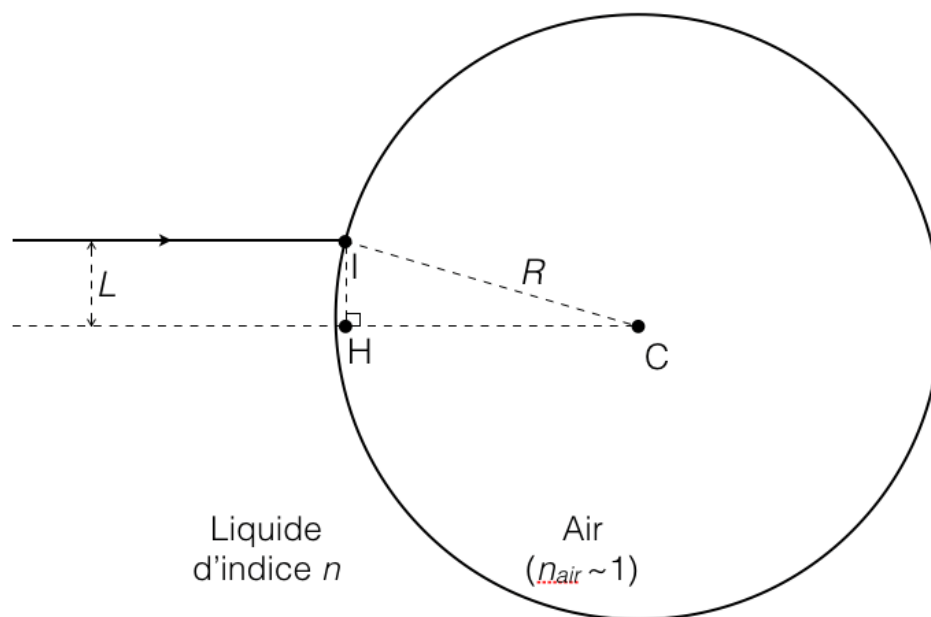
- 3) Déterminer graphiquement $|f'|$, la valeur absolue de la distance focale de la lentille L, et son incertitude $\delta f'$ à partir de l'annexe 4. Expliquez votre méthode.
Ecrire le résultat final sous la forme $f' = \dots \pm \dots$

Remarque : cette dernière question peut être traitée sans avoir répondu aux questions précédentes de l'exercice.

Fin du sujet d'examen de janvier 2017

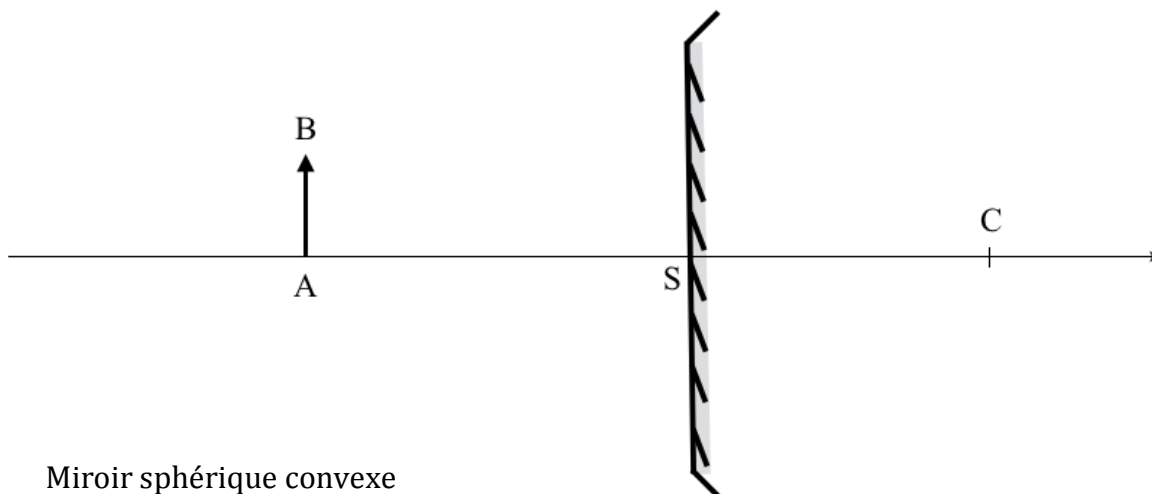
Les annexes sont à rendre avec la copie
N° d'anonymat :

Annexe 1 : Bulle d'air dans un liquide

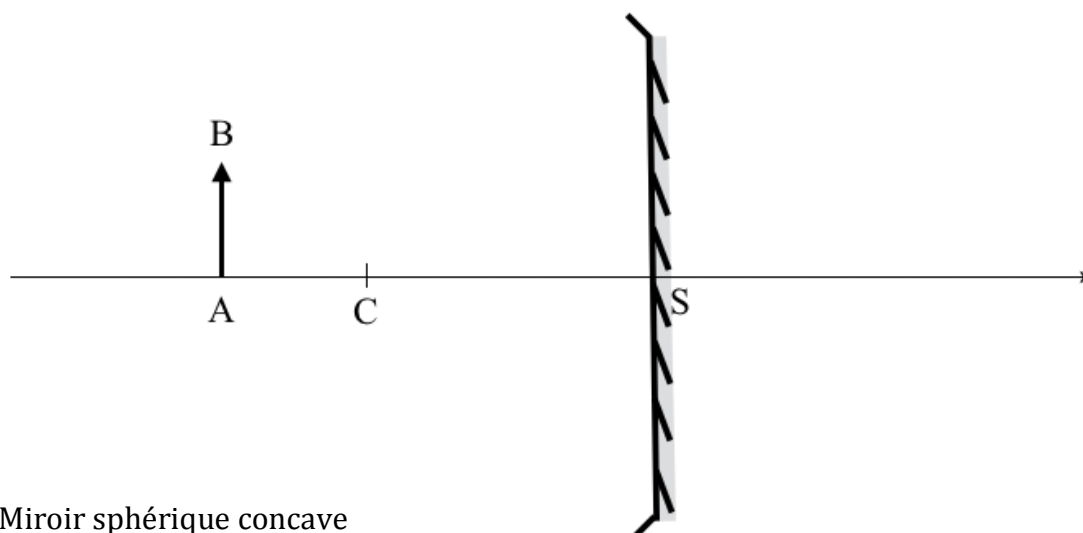


N° d'anonymat :

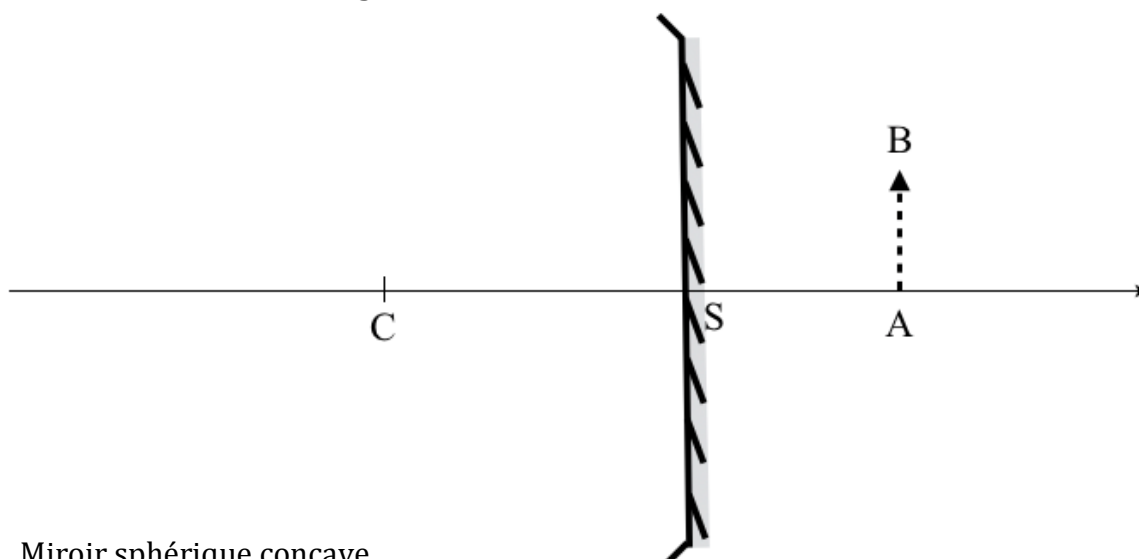
Annexe 2 : Constructions avec miroirs sphériques



Miroir sphérique convexe
Caractérisation de l'image :



Miroir sphérique concave
Caractérisation de l'image :

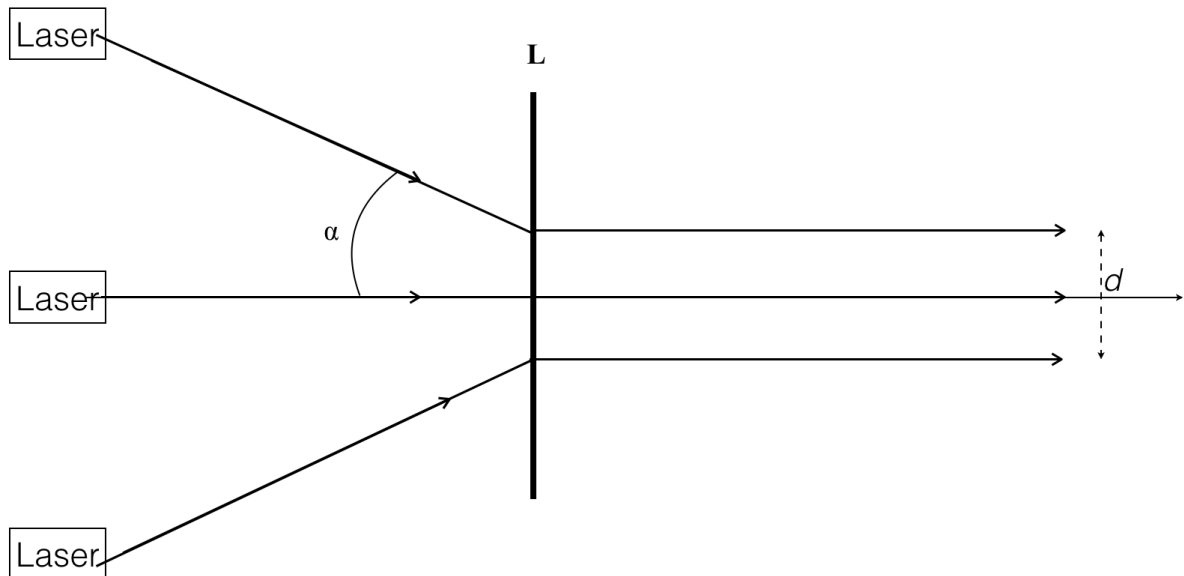


Miroir sphérique concave
Caractérisation de l'image :

Les annexes sont à rendre avec la copie

N° d'anonymat :

Annexe 3 : Schéma du « superlaser » de l'étoile de la mort



Annexe 4 : Etude de la largeur du faisceau laser tiré par l'étoile de la mort

