

CONTROLE TERMINAL

Optique instrumentale & ondes Phys4A

Durée 2h - Sans document, calculatrice autorisée, téléphones portables éteints.  
Les 2 exercices sont indépendants et peuvent être traités dans un ordre indifférent.

Le sujet comporte un schéma à compléter.

La présentation et la rédaction de la copie seront prises en compte.

**Exercice I : Etude d'une lentille boule.** Durée maximale conseillée : 1h.

On considère une lentille boule formée de deux dioptries  $D_1$  et  $D_2$  sphériques de même centre  $C$ , de sommets respectifs  $S_1$  et  $S_2$ , de rayons de courbure  $\overline{S_1C} = R = -\overline{S_2C} = 1$  cm, d'épaisseur  $\overline{S_1S_2} = 2R = 2$  cm, et d'indice  $n = 3/2$ . Les milieux entourant la lentille boule sont l'air d'indice  $n_o = 1$  et l'eau d'indice  $n_i = 4/3$ .

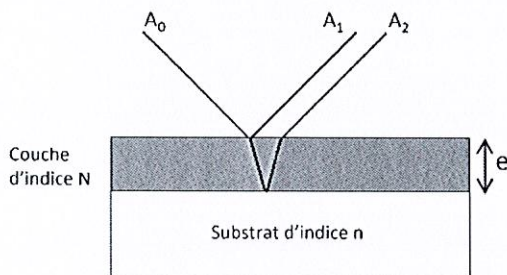
Ce système optique est représenté sur le schéma à compléter qui est à l'échelle 3 : 1, c'est-à-dire 3 cm  $\leftrightarrow$  1 cm).

On a fait figurer le point principal image  $H_i$ , ainsi que le plan principal image  $\mathcal{P}_i$ .

On donne  $\overline{S_1H_i} = \frac{2R}{5} = 0.4$  cm.

1. Calculez la vergence  $V_1$  du dioptré  $D_1$  de sommet  $S_1$ , ainsi que la position de ses foyers image  $F_i^{(1)}$  et objet  $F_o^{(1)}$ .
2. Calculez la vergence  $V_2$  du dioptré  $D_2$  de sommet  $S_2$  et la position de son foyer objet  $F_o^{(2)}$ .
3. Déterminez la position du foyer objet  $F_o$  de la lentille boule, c'est-à-dire de l'ensemble  $D_1 + D_2$ .
4. Exprimez la vergence  $V$  de la lentille boule en fonction de  $R$ . Faites l'application numérique.
5. A partir des deux questions précédentes, calculez  $\overline{S_1H_o}$  et montrez que  $H_o = H_i$ .
6. L'objet  $\overline{A_oB_o}$  représenté sur le schéma a pour image à travers la lentille boule l'image  $\overline{A_iB_i}$  également représentée. A partir de la position de cette image, et par une construction géométrique soignée, déterminez la position du foyer image  $F_i$  de la lentille. Expliquez votre démarche.
7. Comment pouvez-vous confirmer la position du foyer  $F_i$  trouvée précédemment ?
8. Donnez les distances focales objet  $f_o$  et image  $f_i$  de la lentille, en fonction de  $R$ . Faites les applications numériques.
9. Déterminez la position des points nodaux objet  $N_o$  et image  $N_i$ . Que remarquez-vous ?

**Exercice II : Interférences - Traitement anti-reflet.** Durée maximale conseillée : 1h.



On dépose sur un substrat plan d'indice  $n = 1.5$  une couche mince transparente de matériau non absorbant d'indice  $N$  tel que  $1 \leq N \leq n$ , et d'épaisseur  $e$  (cf. Figure ci-contre). Ce dispositif est placé dans l'air (d'indice  $n_a = 1$ ) et est éclairé par une onde plane monochromatique de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 532$  nm.

Dans toute la suite de l'exercice, on considèrera que le dispositif est éclairé en incidence normale.

On rappelle les expressions des coefficients de réflexion et de transmission en amplitude à l'incidence normale au passage entre deux milieux d'indices  $n_1$  et  $n_2$  :

$$r = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad ; \quad t = \frac{2n_2}{n_1 + n_2}$$

où  $n_1$  est l'indice du milieu de l'onde incidente et  $n_2$  l'indice du milieu de l'onde transmise.

On note  $A_0$  l'amplitude de l'onde incidente. On ne considère que les deux premières ondes réfléchies et on note leurs amplitudes respectives  $A_1$  (réflexion air-couche d'indice  $N$ ) et  $A_2$  (réflexion couche d'indice  $N$ -substrat d'indice  $n + 2$  transmissions).

1. A quelle couleur du spectre correspond la longueur d'onde utilisée ici ?
2. Quelle interprétation physique pouvez-vous donner d'un coefficient de réflexion négatif ?
3. Exprimez  $A_1$  et  $A_2$  en fonction de  $A_0$ ,  $n$  et  $N$ .
4. Calculez numériquement la quantité  $\frac{4N}{(N+1)^2}$  pour les deux valeurs extrêmes  $N = 1$  et  $N = n$ .

Déduisez-en que l'on commet une erreur inférieure à 5% si on remplace l'expression de  $A_2$  trouvée précédemment par l'expression approchée suivante :

$$A_2 \approx \frac{N - n}{N + n} A_0$$

5. En utilisant l'approximation précédente, trouvez la relation que doivent satisfaire  $N$  et  $n$  pour que les deux amplitudes  $A_1$  et  $A_2$  soient égales. Calculez alors  $N$  dans ce cas.
6. Donnez l'expression de la différence de marche optique  $\delta$  entre les deux ondes réfléchies. Déduisez-en la différence de phase  $\varphi$  entre ces deux ondes en fonction de  $N$ ,  $e$  et  $\lambda_0$ .
7. Rappelez sans démonstration l'expression de l'intensité  $I(\varphi)$  résultant de l'interférence de deux ondes de même intensité  $I_0$ .
8. Déduisez-en une condition sur  $\varphi$ , puis sur  $e$  pour que l'intensité réfléchie résultant de la superposition des deux ondes précédentes soit nulle (interférences destructives).
9. Quelle est alors l'épaisseur minimale  $e_{min}$  (en fonction de  $\lambda_0$  et  $N$ ) de la couche anti-reflet répondant à cette condition ?

Numéro d'anonymat :

CT Phys4A session 2 09/06/22  
L2 MP / P / PC

Echelle 3:1  
3 cm  $\leftrightarrow$  1 cm

