

SESSION 2010

PCP2008



CONCOURS COMMUNS POLYTECHNIQUES

EPREUVE SPECIFIQUE FILIERE PC

PHYSIQUE 2

Durée : 4 heures

Les calculatrices sont autorisées

Les deux problèmes sont indépendants et de poids sensiblement équivalents

N.B. : Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

PROBLÈME I
INTERFÉROMÉTRIE A DEUX ONDES

3) Superposition de deux ondes monochromatiques et conditions d'interférences

On s'intéresse ici à la superposition de deux ondes monochromatiques caractérisées par des champs électriques de même amplitude E_0 et de même polarisation supposée rectiligne selon l'axe Oy et se propageant toutes deux dans le même sens le long de l'axe Ox .

3.1) Donner les conditions d'obtention d'un phénomène d'interférences à partir de ces deux ondes.

3.2) Deux sources de lumière réelles distinctes ne peuvent pas engendrer de telles conditions.

Expliquer sommairement, *en un nombre minimal de lignes*, à partir du principe d'émission de la lumière, les causes de cet échec.

3.3) Comment réalise-t-on, en pratique, les conditions permettant l'obtention du phénomène d'interférences ? Indiquer brièvement ce qui en limite l'application.

3.4) On peut répertorier deux grandes familles de systèmes interférentiels ; lesquelles ?
Donner un exemple de système pour chaque famille.

3.5) Ecrire la relation entre l'éclairement \mathcal{E}_0 pour une onde seule et l'amplitude E_0 du champ électrique de cette onde.

Donner, sans démonstration, l'expression de l'éclairement \mathcal{E} résultant de la superposition des deux ondes considérées. On précisera avec soin les différentes grandeurs qui interviennent.

4) Dispositif interférentiel

On s'intéresse au dispositif interférentiel de Mach-Zehnder schématisé sur la figure 1, que l'on peut considérer comme un « Michelson déplié » et dans lequel on trouve deux miroirs plans (M_1) et (M_2) ainsi que deux lames séparatrices (SP_1) et (SP_2) d'épaisseurs supposées nulles, tous ces instruments étant inclinés à 45° par rapport aux faisceaux optiques. Une source ponctuelle S est placée au foyer objet d'une lentille convergente (L). Le faisceau réfracté par la lentille est séparé en deux parties de même intensité par la lame (SP_1) pour être recomposé partiellement au niveau de la séparatrice (SP_2) identique à la première, après réflexion sur l'un ou l'autre des miroirs. Le faisceau émergent est ensuite reçu sur un écran (EC).

Ce dispositif est entièrement plongé dans l'air dont on admettra que l'indice a pour valeur $n_0 = 1$.

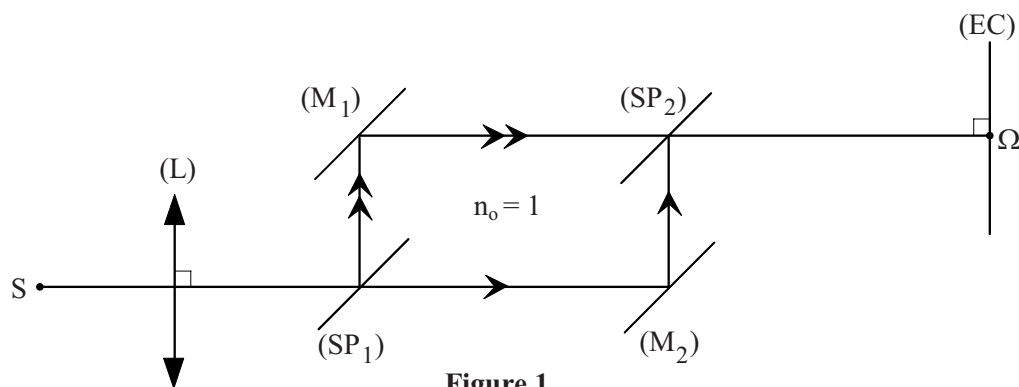


Figure 1

4.1) Justifier, *sans calcul*, qu'en l'état de la figure 1, tous les points éclairés sur l'écran (EC) reçoivent deux ondes en phase. En déduire l'aspect, brillant ou sombre, de la tache lumineuse sur l'écran.

4.2) Sur le trajet issu de (M_1) et dirigé vers (SP_2) on introduit (Figure 2.a) une lame à faces parallèles (L_1) d'épaisseur e et d'indice n , perpendiculaire au faisceau. Sur l'autre trajet, de (SP_1) vers (M_2) on introduit une lame à faces parallèles (L_2) identique à la première (Fig 2.b), mais faiblement inclinée, de manière à se présenter sous une faible incidence θ par rapport au faisceau.

4.2.1) Exprimer, pour le parcours de (M_1) à (SP_2), la différence de marche supplémentaire δ_1 introduite par la présence de lame à face parallèle (L_1).

5) La lame (L_1) étant maintenue en place, la lame (L_2) est remplacée (Figure 3) par une lame à face parallèles (L_3), de même épaisseur e , perpendiculaire au faisceau optique et présentant un gradient d'indice, de norme γ . Ce gradient est parallèle à l'axe Oy du repère cartésien orthonormé (O,x,y,z) dont l'axe Ox est confondu avec la direction de propagation de la lumière et l'axe Oz (non dessiné) est normal au plan de figure.

Dans tout ce qui suit, on supposera que la source est à nouveau monochromatique, de longueur d'onde dans le vide égale à λ .

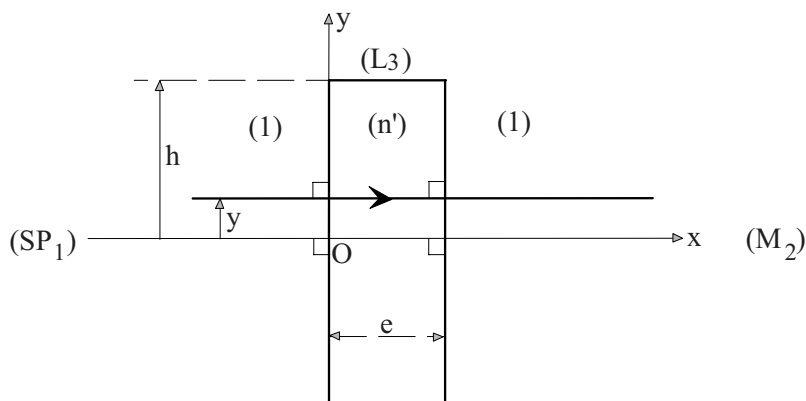


Figure 3

5.1) L'indice n' de la lame (L_3) évolue de manière linéaire entre les deux limites de cette lame où $y = h$ et $y = -h$, de sorte que : $n' = n - \gamma y$.

On considérera que $h = 1 \text{ cm}$, $n = 1,5$ et $\gamma = 10 \text{ m}^{-1}$.

5.1.1) Dans quel sens de l'axe Oy le gradient de l'indice n' se trouve-t-il orienté ?

5.1.2) Exprimer, en fonction de n , e , γ et y , la différence de marche supplémentaire δ_3 engendrée par l'interposition de la lame (L_3), pour le seul rayon du plan de figure atteignant la lame (L_3) avec un décalage y par rapport à l'axe optique.

5.1.3) Tracer le cheminement complet de ce rayon, de la source jusqu'à l'écran. Quelle sera l'ordonnée $Y = \Omega M$ de son point d'impact M sur l'écran (EC) ?

5.1.4) En déduire la différence de marche globale δ entre les deux rayons, issus de S et interférant en M .

5.2) Décrire l'aspect de la figure obtenue sur l'écran, puis préciser la valeur de l'interfrange i lorsque $\lambda = 546 \text{ nm}$ et $e = 1 \text{ mm}$.

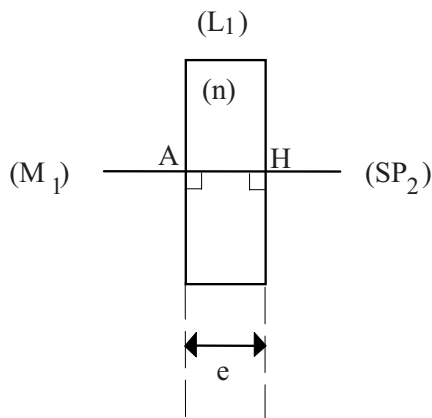


Figure 2.a

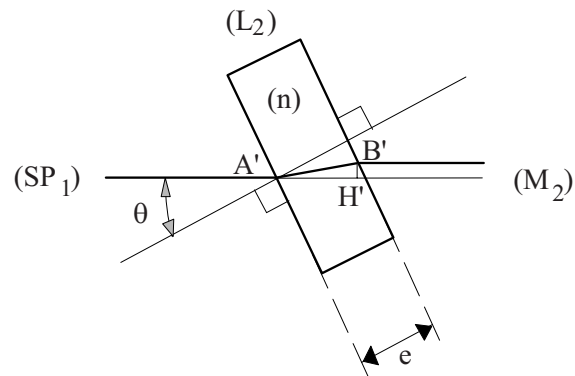


Figure 2.b

4.2.2) Exprimer, pour le parcours de (SP_1) à (M_2) , le chemin optique $\mathcal{L}(A'B')$ puis la distance $(A'H')$ (projection de $(A'B')$ sur l'axe optique) en fonction de l'angle θ supposé très petit et des données n et e . En déduire la différence de marche supplémentaire δ_2 introduite par la présence de la lame à face parallèle (L_2) .

Les calculs seront développés en les limitant au second ordre (inclus) en θ .

4.2.3) En supposant que la source (S) émette une onde monochromatique de longueur d'onde λ dans le vide, exprimer le déphasage Φ des faisceaux au niveau de la tache sur l'écran. L'éclairement sur l'écran est-il alterné ou uniforme ?

4.3) En augmentant lentement l'angle θ à partir d'une valeur nulle (sous réserve qu'il demeure petit), on peut obtenir sa mesure en relevant celle de l'éclairement et à condition de compter le nombre entier k de passages par un maximum de brillance.

4.3.1) Pour quelles valeurs de θ a-t-on un éclairement maximal ?

En prenant $\lambda = 632,8 \text{ nm}$, $n = 1,5$ et $e = 1 \text{ mm}$, calculer en degrés la valeur θ_1 de l'angle correspondant à $k = 1$.

4.3.2) Si ce dispositif était utilisé pour la mesure d'angles, dans quel sens faudrait-il modifier l'épaisseur de la lame pour gagner en sensibilité ?

4.3.3) En supposant que la source ait une longueur de cohérence $\ell_c = 10 \mu\text{m}$, quelle condition devrait-on imposer à l'épaisseur de la lame si l'on voulait mesurer un angle de 1° tout en maintenant $k = 1$?

4.4) La source S est maintenant supposée polychromatique, avec un spectre étalé entre les longueurs d'onde $0,4 \mu\text{m}$ et $0,8 \mu\text{m}$. La lame (L_2) est positionnée avec l'angle θ_1 obtenu à la question (4.3.1). On négligera les variations de l'indice n des lames avec la longueur d'onde.

- Montrer que certaines longueurs d'ondes sont absentes sur l'écran. Les calculer.

- Comment appelle-t-on la couleur globale obtenue sur l'écran ?