TDO2 : Interférences lumineuses

Savoirs

• Critères de cohérence (même source d'origine et $\delta < L_c$). Additivité des intensités dans le cas d'ondes incohérentes.
• Différence de marche, retard de phase, ordre d'interférence.
• Formule de Fresnel (savoir qu'elle ne s'applique que pour deux ondes cohérentes). Conditions d'interférences constructives et destructives sur $\Delta\phi$, δ et p.
• Définition du contraste. Associer un bon contraste à des intensités I_1 et I_2 voisines.

Interro de cours

1. Pour deux rayons incidents en M d'intensités I_1 et I_2. Que vaut l'intensité totale si les deux sources sont incohérentes ?
2. Citer les critères de cohérence permettant l'observation d'interférences lumineuses.
3. Quelles expressions relient déphasage $\Delta\phi$, différence de marche et ordre d'interférence p ?
4. Donner la formule de Fresnel exprimant l'intensité résultante de deux ondes cohérentes d'intensités I_1 et I_2, en fonction du déphasage $\Delta\phi$ ou en fonction de δ ou p.
5. De combien varient p, δ et $\Delta\phi$ entre deux franges successives de même nature ?
6. Donner la définition du contraste en fonction de $I_{\max}$ et $I_{\min}$.
7. Pour quels rapports I_1/I_2 a-t-on un contraste maximal ? Et minimal ?
8. On dispose de l'amplitude complexe d'une onde sinusoïdale. Quelle opération mathématique donne le signal réel ? L'amplitude ? La phase à l'origine ? L'intensité lumineuse ?

Savoir-faire

• Justifier si deux ondes satisfont les critères de cohérence. *Exo 1.*
• Démontrer l'additivité des intensités pour deux ondes ne satisfaisant pas les critères de cohérence. *Exo 2.*
• Démo de la formule de Fresnel dans le cas de deux ondes cohérentes. *Exo 2.*
• **Calculer des différences de marche ou ordre d'interférence.** *Exos 3, 4, 5, 7.*
• **Utiliser δ, p, $\Delta\phi$ pour discuter la nature des interférences, repérer franges sombres et brillantes.** *Exos 1, 3, 5, 7.*
• Utiliser la formule de définition du contraste. *Exos 1, 6, 7.*

1 Critères de cohérence

1. Les faisceaux issus de deux lampes de poche sont-ils cohérents ? Que peut-on dire de l'intensité lumineuse résultante ?
2. On observe parfois des irisations colorées sur un sol couvert d'une fine couche d'essence. Quelle condition sur l'épaisseur de cette couche permet d'observer ces irisations ?

2 Formule de Fresnel

Soient deux ondes lumineuses cohérentes issues de la même source S arrivant au point M : $s_1(t) = S_1.\cos(\omega t - 2\pi(SM)_1/\lambda_0 + \phi_0)$ et $s_2(t) = S_2.\cos(\omega t - 2\pi(SM)_2/\lambda_0 + \phi_0)$. On donne $2\cos a\cos b = \cos(a+b) + \cos(a-b)$.

1. On définit ici les intensités venant de chaque source comme $I_1 = K < s_1^2(t) >$ et $I_2 = K < s_2^2(t) >$. Déterminer leurs expressions en fonction de K, S_1 et S_2.
2. Déterminer l'intensité I résultant de la superposition de ces deux ondes en M. L'exprimer en fonction de la différence de marche δ et de I_1 et I_2, c'est la formule de Fresnel. Cette formule dépend-elle du choix du sens de la différence $\delta = (SM)_2 - (SM)_1$ ou l'opposé ?
3. Refaire le raisonnement précédent pour montrer que deux ondes de pulsations différentes n'interfèrent pas.

3 Mesure de l'épaisseur d'une feuille d'aluminium

Pour mesurer l'épaisseur e d'une feuille d'aluminium, on perce un petit trou dans cette feuille et on coince celle-ci entre deux plaques de verre. On l'éclaire sous incidence normale par une onde plane monochromatique, et on observe les rayons après le trou. La lumière est partiellement réfléchie aux interfaces air/verre.

1. Expliquer quels sont les rayons qui interfèrent. On admettra que les rayons ayant subi plus de deux réflexions ont une contribution négligeable. Que vaut la différence de marche entre les deux trajets principaux ?
2. On fait varier la longueur d'onde de la source afin que le faisceau transmis soit d'intensité la plus faible possible. Que vérifie alors λ ?
3. Une fois trouvée une longueur d'onde correspondant au cas précédent, peut-on en déduire e de manière certaine ? Proposer alors comment déterminer e.

4 Différence de marche introduite par une lame à faces parallèles (**)

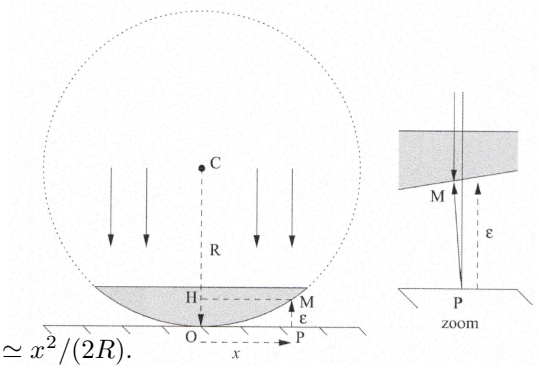
Une lame à faces parallèles d'épaisseur e et d'indice n est interposée entre une source S située à l'infini dans l'air d'indice n_a, et un point A situé aussi dans l'air.

1. Dans le cas où la rayons issus de S sont orthogonaux aux faces de la lame, faire un schéma puis exprimer $\delta = (SA)_{\text{avec}} - (SA)_{sans}$ la différence entre les chemins optiques de S à A en présence et en absence de lame.
2. Dans le cas où la rayons issus de S forment un angle d'incidence i sur la lame, en notant r l'angle de réfraction, faire un schéma puis montrer que cette fois, $\delta = e(n\cos(r) - n_a\cos(i))$. Dans la limite où l'angle d'incidence i est faible, déterminer une expression approchée de δ au deuxième ordre en i.

5 Anneaux de Newton (**)

Un fragment d'une bille de verre d'indice n, de rayon R et de centre C est posée sur un miroir plan, avec contact en O. Elle est éclairée sous incidence normale par une lumière quasi-monochromatique de longueur d'onde λ_0 dans le vide.

On observe les interférences sur la partie sphérique. En un point M de cette surface, repéré par x, se rencontrent le rayon ayant traversé la lentille et celui qui, en plus de la traversée, s'est réfléchi sur le miroir en P. On précise le fait que lors de la réflexion sur un miroir métallique, l'onde subit un déphasage supplémentaire de π (soit un chemin optique supplémentaire de $\lambda_0/2$).



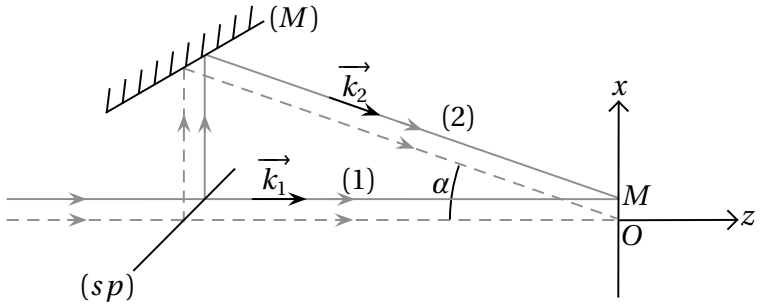
1. Exprimer ϵ en fonction de R et x. Dans la limite où $x \ll R$, montrer que $\epsilon \simeq x^2/(2R)$.
2. Au voisinage de O, observe-t-on des interférences constructives ou destructives ?
3. Déterminer la position x_k de la $k$ième frange sombre et x'_k pour la $k$ième frange brillante.
4. Décrire qualitativement ce qu'on obtient en éclairant en lumière blanche.

6 Contraste d'une figure d'interférence

Une figure d'interférence est acquise à l'aide d'un capteur CCD. Dans une unité non précisée, l'intensité de la figure varie entre 3 et 7. Que vaut le contraste ? La figure est obtenue par interférences de deux ondes cohérentes d'intensités respectives I_1 et I_2. En déduire le rapport de ces deux intensités (soit par lecture graphique sur votre calculatrice, soit par calcul analytique après résolution d'une équation du second degré, soit par dichotomie).

7 Diviseur de faisceau (**)

Un faisceau laser est divisé en deux par une lame séparatrice (sp) présentant des coefficients de réflexion et de transmission en amplitude notés r et t. Les deux faisceaux issus de la lame séparatrice sont recombinés sur un écran grâce à un miroir (M). Une réflexion sur (M) s'accompagne d'un retard de phase de π de l'onde, on note $r_M = -1$ son coefficient de réflexion. Les faisceaux forment un angle $\alpha = 10°$ au niveau de l'écran. On suppose que les deux ondes arrivent en phase en O et l'indice optique de l'air est assimilé à celui du vide.



1. Déterminer la différence de marche en M entre les deux ondes.
2. Établir l'expression de l'intensité $I(M)$ au point M. Quelle est la forme des franges d'interférences ?
3. On appelle interfrange i, la distance sur l'écran entre deux franges brillantes consécutives. Exprimer l'interfrange.
4. Quelles valeurs des coefficients de réflexion r et de transmission t permettent de maximiser le contraste des franges ?