Optique physique

AAV n°3 : être capable de retrouver et d'utiliser la formule de Fresnel dans un montage à division du front d'onde ou à division d'amplitude

Consignes : Justifier toutes les réponses. Une réponse correcte non justifiée est considérée comme fausse en devoir. Soigner la rédaction des réponses et respecter les notations de l'énoncé. Une réponse qui utilise une autre notation est considérée comme fausse en devoir.

1 Les savoir-faire à connaître

Savoir utiliser la notion de longueur de cohérence

Exercice 1 : Flaque d'huile

Une goutte d'huile forme un film mince à la surface d'une flaque d'eau. Éclairé par le Soleil, la lumière réfléchie fait apparaitre des franges colorées.

1. Rappeler l'ordre de grandeur de la longueur de cohérence de la lumière du Soleil.
2. En déduire l'ordre de grandeur de l'épaisseur du film d'huile.

Savoir établir la formule de Fresnel

Exercice 2 : Utilisation de la notation complexe

Un diviseur d'ondes permet de superposer en un point M deux ondes d'éclairement respectifs ε_1 et ε_2 émises par une même source ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde λ_0, l'une ayant parcouru un chemin optique (S_1M) et l'autre un chemin optique (S_2M).

1. Établir l'expression de l'éclairement sur l'écran en utilisant la notation complexe.
2. Que devient cette expression dans le cas où les deux sources ont la même amplitude. Tracer le graphe de ε en fonction du déphasage entre les deux ondes.
3. Donner l'expression de la formule de Fresnel en fonction de l'ordre d'interférence.

Savoir établir l'expression du contraste des franges

Exercice 3 : Facteur de contraste

1. Montrer à l'aide de la formule de Fresnel que le facteur de contraste des franges défini par $C = \frac{\varepsilon_{max}-\varepsilon_{min}}{\varepsilon_{max}+\varepsilon_{min}}$ a pour expression $C = \frac{2\sqrt{\varepsilon_1}\sqrt{\varepsilon_2}}{\varepsilon_1+\varepsilon_2}$.
2. A quelle condition le contraste des franges est-il maximal ?

être capable d'utiliser la formule de Fresnel dans un montage à division du front d'onde

Exercice 4 : Fentes d'Young

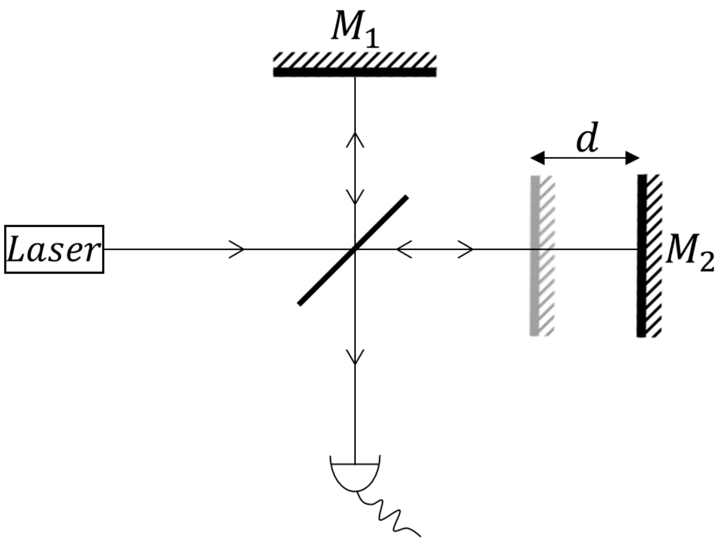
On place un laser de longueur d'onde $\lambda = 546\,\text{nm}$ au foyer objet d'une lentille L_1. Le faisceau parallèle produit par la lentille L_1 éclaire deux fentes distantes de $a = 0{,}02\,\text{mm}$ et d'épaisseur de l'ordre de la longueur d'onde. Les fentes se comportent alors comme des sources ponctuelles cohérentes S_1 et S_2. On observe la figure d'interférence sur un écran situé au plan focal image d'une lentille L_2 de distance focale $f = 10\,\text{cm}$. On note x la distance à l'axe optique sur l'écran.

1. Déterminer l'expression de la différence de marche entre les deux rayons en fonction de a, x et f.
2. En déduire l'expression de l'éclairement observé sur l'écran.
3. Quel est l'éclairement de la frange centrale ?
4. Déterminer l'expression de l'interfrange. Calculer sa valeur numérique.
5. Déterminer la distance à l'axe de la cinquième frange brillante.

être capable d'utiliser la formule de Fresnel dans un montage à division d'amplitude

Exercice 5 : Interféromètre de Michelson

On considère un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air éclairé par un laser de longueur d'onde $\lambda_0 = 648\,\text{nm}$.



1. Donner l'expression de la différence de marche au centre de la figure d'interférence en fonction de d.
2. Donner l'expression de l'éclairement au centre de la figure d'interférence en fonction du retard τ entre les deux rayons et ω_0 (on note c la vitesse de la lumière). Donner l'expression de τ.
3. Tracer le graphe de l'éclairement en fonction de $\omega\tau$.

Savoir utiliser la notation complexe pour calculer un éclairement

Exercice 6 : Les fentes de Young

Un faisceau parallèle de longueur d'onde λ_0 éclaire deux fentes distantes de a et d'épaisseur de l'ordre de la longueur d'onde. Les fentes se comportent alors comme des sources ponctuelles cohérentes S_1 et S_2. On observe la figure d'interférence produite sur un écran distant de d des fentes en un point P. Les conditions expérimentales sont telles que $a << d$ et $y << d$ ce qui implique que $\beta \simeq 90$ dans la figure suivante.

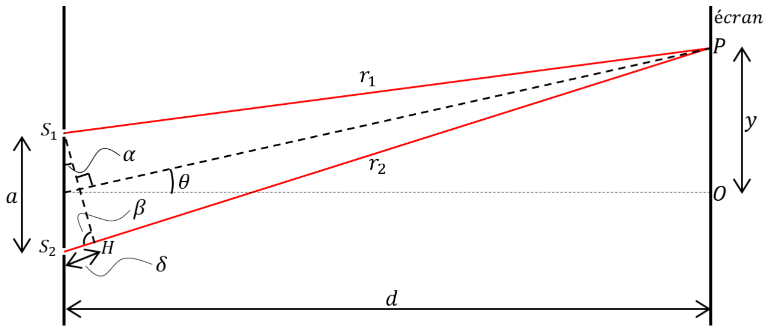


Figure 1 – Le schéma n'est pas à l'échelle.

1. Déterminer l'expression de α en fonction de y et d.
2. En déduire l'expression de δ.
3. En déduire le déphasage $\Delta\phi$ entre les deux rayons issus de S_1 et S_2.

Nous notons $\underline{a}_1 = A_1$ et $\underline{a}_2 = A_1 e^{+i\Delta\phi}$ au niveau du point P.

4. Déterminer l'expression de l'éclairement au point P en utilisant la notation complexe.
5. En déduire l'expression de l'interfrange.

2 La mise en œuvre pour maîtriser l'apprentissage

Exercice 7 : Les fentes de Young

Un faisceau parallèle de longueur d'onde λ_0 éclaire n système de trois fentes de Young distantes de a et d'épaisseur de l'ordre de la longueur d'onde. Les fentes se comportent alors comme des sources ponctuelles cohérentes S_1 et S_2. On observe la figure d'interférence produite sur un écran distant de d des fentes en un point P. Les conditions expérimentales sont telles que $a << d$ et $y << d$.

Nous notons $\underline{a}_1 = A_1$, $\underline{a}_2 = A_1 e^{+i\Delta\phi}$ et $\underline{a}_3 = A_1 e^{+i2\Delta\phi}$

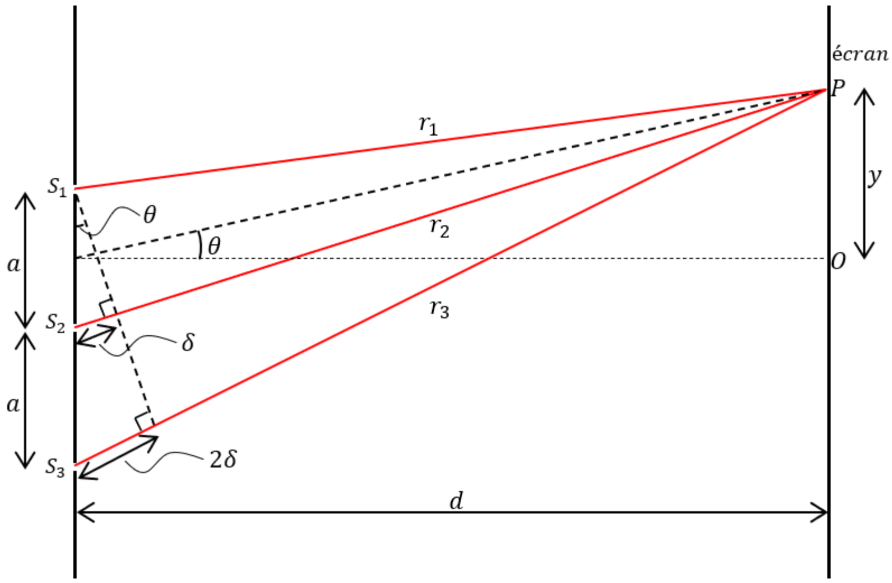
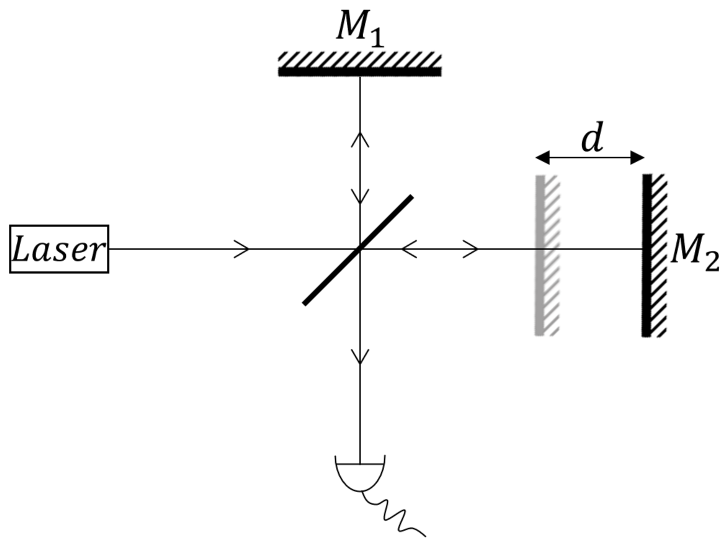


FIGURE 2 – Le schéma n'est pas à l'échelle.

1. Montrer que l'éclairement au point P a pour expression $\varepsilon = \varepsilon_1 \frac{\sin^2\left(\frac{3\Delta\phi}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right)}$ en utilisant la notation complexe.
2. En déduire l'expression de l'interfrange et comparer au cas à deux fentes.

Exercice 8 : Interféromètre de Michelson

On considère un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air éclairé par un laser de longueur d'onde $\lambda_0 = 648\,\text{nm}$.



1. Donner l'expression de la différence de marche au centre de la figure d'interférence en fonction de d.
2. Donner l'expression de l'éclairement au centre de la figure d'interférence en fonction du retard τ entre les deux rayons et ω_0 (on note c la vitesse de la lumière). Donner l'expression de τ.

On considère maintenant que $d = 0$ et on place dans un des bras de l'interféromètre un réservoir transparent de longueur l qui contient un gaz d'indice n.

3. Déterminer l'expression du déphasage entre les deux rayons au niveau du détecteur.
4. On observe le défilement de N franges au niveau du détecteur après l'introduction du réservoir du gaz. Montrer que l'indice du gaz est donné par $n = 1 + \frac{N\lambda_0}{2l}$.

Exercice 9 : Lame séparatrice

Une séparatrice infiniment mince est éclairée par deux ondes cohérentes d'amplitude complexes $\underline{a}_1$ et $\underline{a}_2$ notées :

$$\underline{a}_1 = A_1 e^{-i\phi_1} \quad \text{et} \quad \underline{a}_2 = A_2 e^{-i\phi_2}$$

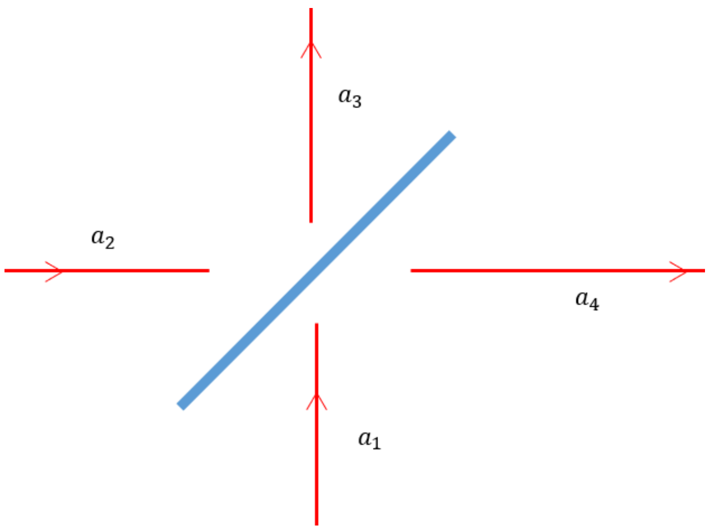
Elles engendrent deux ondes lumineuses sortantes $\underline{a}_3$ et $\underline{a}_4$ telle que :

$$\underline{a}_3 = t'\underline{a}_1 + r\underline{a}_2$$

et

$$\underline{a}_4 = r'\underline{a}_1 + t\underline{a}_2$$

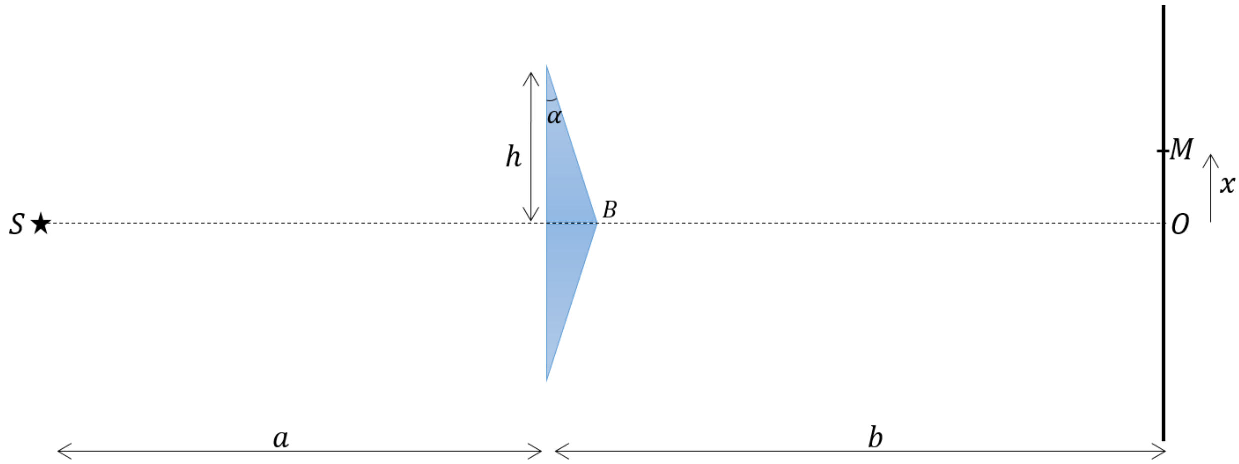
On suppose que r, r', t et t' sont des nombres réels avec $t > 0$ et $t' > 0$.



1. Exprimer l'éclairement émergent ε_3 donné par $\varepsilon_3 = \frac{1}{2}a_3\underline{a}_3^\star$ en fonction de A_1, A_2, r, r', t, t' et $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ le déphasage entre les ondes 1 et 2.
2. En déduire l'éclairement ε_3 en fonction de ε_1, ε_2, r, r', t, t' et $\Delta\phi$.
3. De même, exprimer l'éclairement ε_4 en fonction de ε_1, ε_2, r, r', t, t' et $\Delta\phi$.
4. On néglige les pertes de la séparatrice. Déduire trois relations entre r, r', t et t' en écrivant la conservation de l'énergie lumineuse $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \varepsilon_3 + \varepsilon_4$.
5. On suppose que la lame symétrique est de telle sorte que $t = t'$. Montrer que $r' = -r$.
6. On observe sur un écran ε_4. Déterminer les valeurs de $\Delta\phi$ qui donnent un éclairement maximal en fonction du signe de r' (positif, négatif ou nul).

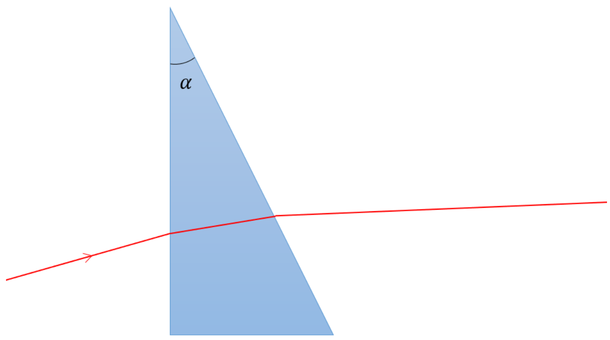
Exercice 10 : Biprisme de Fresnel

Deux primes identiques d'angle $\alpha = 5{,}82 \times 10^{-3}\,\text{rad}$, d'indice $n = 1{,}5$ supposé indépendant de la longueur d'onde, sont accolés par leur base commune. Ce biprisme est éclairé par une fente source S parallèle aux arêtes des prismes, et on observe les phénomènes d'interférences sur un écran perpendiculaire à l'axe, à la distance $b = 72{,}25\,\text{m}$ du biprisme.



La source S est à la distance finie $a = 0{,}25\,\mathrm{m}$ du biprisme. On éclaire le dispositif en lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 546\,\mathrm{nm}$.

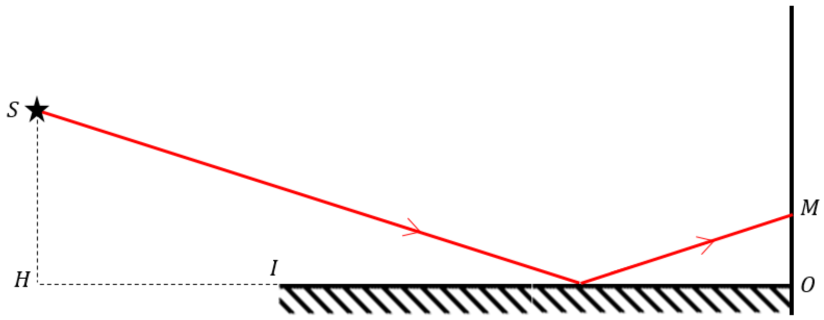
1. On étudie pour l'instant un prisme à l'aide de l'optique géométrique pour trouver l'expression de l'angle de déviation d'un rayon lumineux qui passe à travers un prisme. Reproduire le schéma ci-dessous et indiquer l'angle incident i, l'angle de première réfraction r_1 et l'angle de deuxième réfraction r_2. Indiquer également l'angle de déviation D.



2. Montrer que pour un angle incident $i << 1$, l'angle de déviation est donnée par $D = (n-1)\alpha$.
3. Montrer à l'aide d'un schéma que le système est équivalent à un système de deux sources ponctuelles S_1 et S_2 sans prisme.
4. Montrer à l'aide des rayons lumineux passant par B que la largeur du champ d'interférences a pour expression $l = 2(n-1)\alpha b$.
5. Déterminer la distance S_1S_2 en fonction de n, α et a.
6. Déterminer la différence de marche optique entre deux rayons arrivant en un point x de l'écran (on néglige la différence d'épaisseur de verre traversée par les deux rayons). En déduire l'expression de l'éclairement $\varepsilon(x)$.
7. Montrer que le nombre d'interfranges obtenus sur l'écran a pour expression $N = \frac{4\alpha^2(n-1)^2ab}{\lambda(a+b)}$. En déduire le nombre de franges noires observées sur l'écran.

Exercice 11 : Miroir de Lloyd

Un miroir plan de largeur $L = 20\,\mathrm{cm}$, est placé perpendiculairement à un écran E ; celui-ci est en contact avec le bord O du miroir situé à droite. On éclaire le miroir par une source-fente lumineuse S qui émet une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0{,}6\,\mu\mathrm{m}$, parallèle au miroir, située à faible distance $y = 1{,}5\,\text{mm}$ du plan du miroir et à une distance $D = 70\,\text{cm}$ de l'écran.



1. Déterminer la différence de marche optique entre les deux rayons qui interfèrent au point M. On rappelle que la réflexion sur le miroir rajoute un déphasage supplémentaire de π donc une différence de marche optique de $\frac{\lambda}{2}$. Montrer que cette différence de marche a pour expression $\frac{2yx}{D} + \frac{\lambda}{2}$ avec $OM = x$.
2. Écrire la loi $\varepsilon(x)$ donnant l'éclairement sur l'écran E en un point M du champ d'interférence. Quelle est la forme des franges observées ?
3. Montrer que l'interfrange a pour expression $i = \frac{\lambda D}{2y}$. A quelle distance de O se trouve se trouve la cinquième frange brillante ?
4. Quel est le nombre de franges brillantes visible sur l'écran ?