Chapitre 2 - TD.

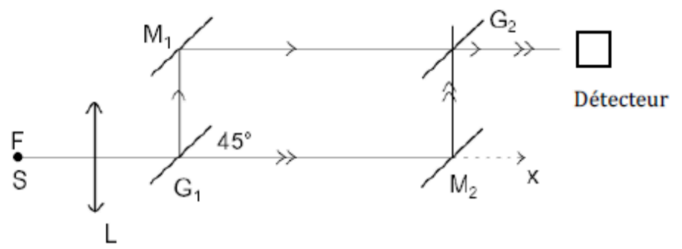
1. Exercice 2-1.

Exercise 2-1 : Interféromètre de Mach–Zehnder

S est une source monochromatique de longueur d'onde λ. G_1 et G_2 sont deux lames semi-réfléchissantes introduisant les mêmes déphasages. Elles sont inclinées à 45° par rapport à l'axe Sx.

M_1 et M_2 sont deux miroirs parallèles aux lames.

1. À quelle classe d'interféromètre (division de front d'onde ou d'amplitude) ce dispositif appartient-il ?
2. Quel est l'ordre d'interférences sur le détecteur ?
3. Même question si on interpose une lame à faces parallèles, non absorbante, d'indice N et d'épaisseur e sur le trajet M_1G_2. La lame est disposée perpendiculairement au faisceau lumineux. Calculer la variation d'ordre d'interférences sur le détecteur pour $e = 0,10000$ mm, $\lambda = 0,500000 \mu m$ et $N = 1,50000$.
4. Le détecteur peut déceler une variation d'éclairement de 1%. Quelle est la variation d'épaisseur Δe qui entraine une telle variation ?



1. Division d'amplitude

B.3.1 Les deux méthodes principales

On dispose de deux classes de dispositifs pour obtenir des interférences.
Les dispositifs à ***division de front d'onde*** sont ceux dans lesquels *deux rayons différents* partant de la source interfèrent.
Les dispositifs à ***division d'amplitude*** sont obtenus avec deux ondes associées à *un même rayon* issu de la source. Ces dispositifs sont basés sur des systèmes partiellement réfléchissants (et transparents) (lame semi-réfléchissantes...) (Figure 2.8).

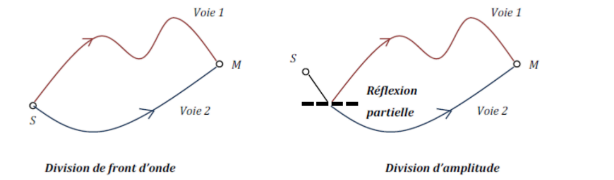


FIGURE 2.8 – Classification des dispositifs interférentiels

2. $p = \dfrac{\Delta\varphi_{2/1}(M)}{2\pi} = \dfrac{\delta_{2/1}(M)}{\lambda_0}$

Différence de phase, différence de marche

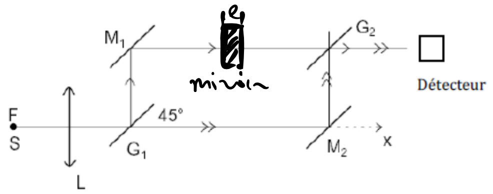
$\varphi_1(G_2) = \varphi_1(G_1) + \pi + k[G_1G_2]_1$
$\varphi_2(G_2) = \varphi_2(G_1) + \pi + k[G_1G_2]_2$

$\Delta\varphi_{2,1}(G_2) = 0$
$\Rightarrow \delta_{2/1}(G_2) = \Delta\varphi_{2/1}(G_2) \times \lambda_0 = 0$

$$\boxed{p_{2/1}(G_2) = \frac{\Delta\varphi_{2/1}(G_2)}{2\pi} = 0}$$

$\delta_{2/1}(M) = \cancel{(SG_1)} + (G_1M_2) + (M_2\cancel{G_2})$
$+ \cancel{(G_2M)} - \cancel{(SG_1)} - (G_1M_1) - (M_1\cancel{G_2})$
$- \cancel{(G_2M)} = 0 \Rightarrow p_{2/1}(G_2) = 0$

3.



$\delta'_{2/1}(D) = \delta_{2/1}(D) + (Ne - ne)$

Donc, $p = \dfrac{\delta_{2/1}(D)}{\lambda_0} = \dfrac{N-1}{\lambda_0} e$

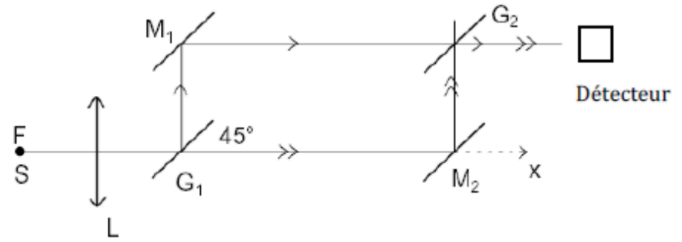
$\overset{AN}{=} +100,0$

Exercise 2-1 : Interféromètre de Mach–Zehnder

S est une source monochromatique de longueur d'onde λ. G_1 et G_2 sont deux lames semi-réfléchissantes introduisant les mêmes déphasages. Elles sont inclinées à 45° par rapport à l'axe Sx.

M_1 et M_2 sont deux miroirs parallèles aux lames.

1. À quelle classe d'interféromètre (division de front d'onde ou d'amplitude) ce dispositif appartient-il ?
2. Quel est l'ordre d'interférences sur le détecteur ?
3. Même question si on interpose une lame à faces parallèles, non absorbante, d'indice N et d'épaisseur e sur le trajet M_1G_2. La lame est disposée perpendiculairement au faisceau lumineux. Calculer la variation d'ordre d'interférences sur le détecteur pour $e = 0,10000$ mm, $\lambda = 0,500000 \mu m$ et $N = 1,50000$.
4. Le détecteur peut déceler une variation d'éclairement de 1%. Quelle est la variation d'épaisseur Δe qui entraine une telle variation ?



Exercise 2-1 : Interféromètre de Mach–Zehnder

S est une source monochromatique de longueur d'onde λ. G_1 et G_2 sont deux lames semi-réfléchissantes introduisant les mêmes déphasages. Elles sont inclinées à 45° par rapport à l'axe Sx.

M_1 et M_2 sont deux miroirs parallèles aux lames.

1. À quelle classe d'interféromètre (division de front d'onde ou d'amplitude) ce dispositif appartient-il ?
2. Quel est l'ordre d'interférences sur le détecteur ?
3. Même question si on interpose une lame à faces parallèles, non absorbante, d'indice N et d'épaisseur e sur le trajet M_1G_2. La lame est disposée perpendiculairement au faisceau lumineux. Calculer la variation d'ordre d'interférences sur le détecteur pour $e = 0,10000$ mm, $\lambda = 0,500000 \mu m$ et $N = 1,50000$.
4. Le détecteur peut déceler une variation d'éclairement de 1%. Quelle est la variation d'épaisseur Δe qui entraine une telle variation ?

4. Formule de Fresnel. $I_1 = I_2 = I_0$

$I(M) = 2I_0(1 + \cos(\Delta\varphi_{2/1}(M)))$

$\Delta\varphi_{2/1}(M) = \dfrac{2\pi}{\lambda_0}(N-1)e \overset{AN}{=} \dfrac{2\pi\cdot(1,5-1)\cdot 0,1\times10^{-3}}{0,5\cdot10^{-6}} = 2\pi\cdot10^2$

ici $I(M) = 2I_0[1+1] = 4I_0 = I_{max}$

$$I_{max} - \Delta I = I_0\left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}((N-1)e + \Delta e)\right)\right]$$

$\frac{\Delta I}{I_0} = 1\%$. $\Delta I = 2I_0\left[1 - \cos\left(2\pi \times 100 + \frac{2\pi}{\lambda_0}(N-1)\Delta e\right)\right]$

Donc. $\frac{\Delta I}{I_0} = 2\left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda_0}(N-1)\Delta e\right)\right]$

1%.

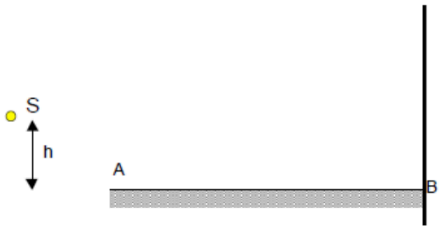
$$\boxed{\Delta e = \frac{0{,}1\,\lambda_0}{2\pi(N-1)}}$$

(AN) $\Delta e = \frac{0{,}1 \times 0{,}5 \times 10^{-6}}{2\pi \times (1{,}5-1)} = \frac{5 \times 10^{-8}}{\pi}$

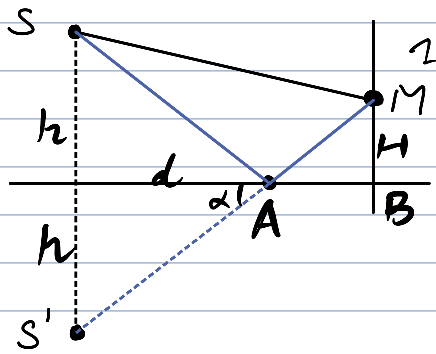
$= 1{,}59 \times 10^{-8}\,m$

Exercice 2-5 : Miroir de Lloyd

Le dispositif interférentiel du miroir de Lloyd est constitué d'un miroir plan AB (de 10 cm de long) et d'un écran placé orthogonalement au miroir en B.
Une source ponctuelle située à une hauteur $h = 1$ mm au-dessus du plan du miroir, et à 20 cm de A, émet une lumière de longueur d'onde $\lambda = 0,546$ μm.



1. Expliquer pourquoi ce dispositif permet d'observer des interférences sur l'écran. Pourquoi a-t-on une frange sombre en B ?
2. Déterminer la largeur du champ d'interférences, et préciser les franges d'interférences. Déterminer la distance entre deux franges brillantes voisines. Faire l'application numérique.



1. $\varphi_{S/S'}(M) = [\varphi(S) + k_0(SB)] - [\varphi(S') + k_0(S'B)] + \varphi_{sup}$

Comme il y a une réflexion, on peut considérer $\varphi(S) = \varphi(S')$, donc c'est la division du front d'onde.

Ordre : $p_B = \frac{-\pi}{2\pi} = -\frac{1}{2} \Rightarrow$ <u>frange sombre</u>

2. D'après le théorème de Thalès : $\frac{H}{h} = \frac{AB}{d} \Rightarrow H \approx 0,5$ mm

La trigonométrie implique $\tan\alpha = \frac{H}{AB} = \frac{h}{d}$

$$S'M^2 = (x_M - x_{S'})^2 + (y_M - y_{S'})^2 + (z_M - z_{S'})^2$$

$$= (d+AB)^2 + y^2 + (z+h)^2$$

$$= (d+AB)^2 \left[1 + \frac{y^2}{(d+AB)^2} + \frac{(z+h)^2}{(d+AB)^2}\right]$$

DL

$$S'M = (d+AB)\left(1 + \frac{1}{2}\frac{y^2}{(d+AB)^2} + \frac{1}{2}\frac{(z+h)^2}{(d+AB)^2}\right) \quad (1)$$

De même,

$$SM = (d+AB)\left(1 + \frac{1}{2}\frac{y^2}{(d+AB)^2} + \frac{1}{2}\frac{(z-h)^2}{(d+AB)^2}\right)$$

$$\delta = S'M - SM = (d+AB)\cdot\frac{(z+h)^2 - (z-h)^2}{(d+AB)^2}\cdot\frac{1}{2} = \frac{2zh}{d+AB}$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\delta}{\lambda_0} + \Delta\varphi_{sup} = \frac{2\pi}{\lambda_0}\cdot\frac{2zh}{d+AB} + \pi$$

Frange brillante : $p = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{2zh}{\lambda_0(d+AB)} + \frac{1}{2}$

$$z = \left(p - \frac{1}{2}\right)\cdot\frac{\lambda_0(d+AB)}{2h} > 0 \quad \text{pour } p \geq 1$$

$$z(p+1) - z(p) = \boxed{\frac{\lambda_0 (d+AB)}{2h} = i}$$

(AN) $i = 81,9\ \mu m$