

Interféromètre de Michelson

1

Avec un système à division du front d'onde, une source étendue provoque un brouillage, parce que en Π donné sur l'écran, δ dépend du point considéré sur la source.

Avec un système à division d'amplitude, on peut utiliser une source large tout en conservant le contraste.

I - présentation

1. Division des rayons et rôle de la compensatrice

Chaque rayon produit par division d'amplitude deux nouveaux rayons. Si la source est ponctuelle, tout rayon passant par Π_1 est cohérent avec tout rayon passant par Π_2 .

Les deux rayons issus de la division d'un même rayon de départ sont cohérents l'un avec l'autre.

cf Figure 1

cf Figure 2

Sur la figure 1, le rayon 1 traverse 3 épaisseurs de verre, le rayon 2, 1 seule épaisseur, d'où une différence de marche parasite qu'on élimine avec une autre lame identique mais qui n'est pas réfléchissante (= compensatrice).

Sur la figure 2, chaque rayon traverse 4 épaisseurs de verre. La compensation a lieu si les deux lames sont parallèles.

2. Cheminement des rayons

cf. Figure 3

Tout se passe comme si la lumière venait de S_1 et S_2 qui envoient des rayons cohérents.

3. Système fictif équivalent

cf. Figure 4

Π_1' : image de Π_1 par réflexion sur la séparatrice.

Le rayon fictif (1'') $I_1 I_1' K_1$ émerge confondu avec le rayon 1 en ayant parcouru le même chemin.

Dans la suite, on raisonne systématiquement avec ce rayon fictif et Π_1' .

Le rayon 1' et le rayon 2 voyagent du même côté de la séparatrice, sont confondus juste après I_1 ce qui simplifie les calculs.

4. Localisation et projection

Avec une source ponctuelle, on obtient deux faisceaux cohérents et on peut voir les franges partout où ils se croisent, les franges sont non localisées.

Avec une source étendue, les franges se brouillent sauf si on met l'écran à un endroit spécial : les franges sont localisées.

Théorème : (hors programme)

Les franges sont localisées là où se rencontrent les deux rayons produits par la division d'un même rayon issu de la source.

cf. poly. (*)

II - Utilisation en lame à face parallèles

2

Π_1' et Π_2 sont parallèles et délimitent une lame d'air d'épaisseur e .



1. Localisation et projection des franges

cf. Figure 5

Les deux rayons sortent parallèles, ils interfèrent à l'infini (mettre l'écran assez loin ou idéalement au plan focal image d'une lentille). Les franges sont localisées à l'infini.

2. Différence de marche

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{S_1 I_2 n} &= S_1 I + I J_2 + \mathcal{L}_{J_2 n} \\ &= S_1' I + I J_2 + \mathcal{L}_{J_2 n} \\ &= S_1' J_2 + \mathcal{L}_{I_2 n} \\ &= S_2 J_2 + \mathcal{L}_{I_2 n} \end{aligned}$$

On peut calculer les chemins optiques à partir de S_1 , S_2 .

cf. Figure 6

On utilise le plan d'onde du rayon inverse passant par S_2 .

$$\mathcal{L}_{S_1 n} = \mathcal{L}_{H n}$$

$$\text{Donc } \delta = \mathcal{L}_{S_2 n} - \mathcal{L}_{S_1 n} = S_2 H = S_1 S_2 \cos(i)$$

$$\delta = 2e \cos(i)$$

Autre démonstration (plus dure) mais plus généralisable

cf. Figure 7

KH, plan d'onde du rayon inverse : $\mathcal{L}_{K n} = \mathcal{L}_{H n}$

et $\mathcal{L}_{S_1}$ est identique pour les deux rayons.

donc $\delta = IJ - IH$

$$IJ = \frac{e}{\cos(i)} \quad JK = \frac{e}{\cos(i)}$$

$$IK = 2e \tan(i)$$

$$IH = IK \sin(i) = 2e \frac{\sin^2(i)}{\cos(i)}$$

$$\text{d'où } \delta = \frac{2e}{\cos(i)} - 2e \frac{\sin^2(i)}{\cos(i)}$$

$$= \frac{2e}{\cos(i)} (1 - \sin^2(i))$$

$$\delta = 2e \cos(i)$$

Si la lame d'air est remplacée par une lame d'indice n ,

on montre que $\delta = 2en \cos(r)$

avec $\sin(i) = n \sin(r)$ en adaptant cette démonstration.

Ce sont les interférences produites par les couches minces.

Savoir retenir

3. Etude de la figure d'interférence

Invariance par rotation, tous les points P situés sur un même cercle de centre O sont associés au même angle i donc à $\delta = \text{cte}$.

Ce sont des anneaux d'égale inclinaison ($i = \text{cte}$)

cf. Figure 8

$$\text{avec } r = f' \tan(i) \approx f' i$$

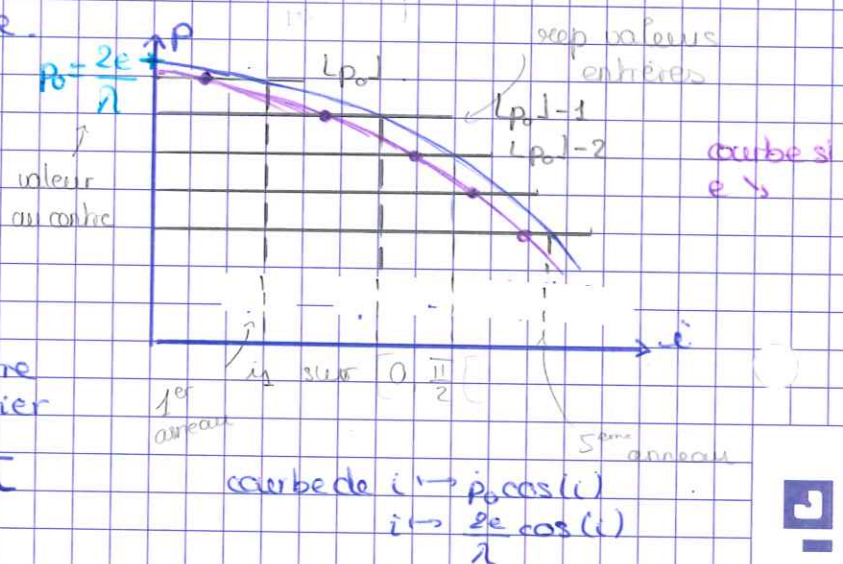
Les anneaux ne sont pas équidistants car la relation entre δ et i n'est pas linéaire.

$$p = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{2e \cos(i)}{\lambda}$$

$$i=0,$$

$$p = p_0 = \frac{2e}{\lambda} \quad \text{ordre au centre pas très entier}$$

$$p_0 = [p_0] + \varepsilon \quad \varepsilon \in [0, 1[$$



$$\text{courbe de } i \mapsto p_0 \cos(i)$$

$$i \mapsto \frac{2e \cos(i)}{\lambda}$$

L'ordre décroît en s'éloignant du centre, chaque fois qu'il est entier, on a un anneau brillant.

Le k^{e} anneau est tel que $p = \lfloor p_0 \rfloor - k + 1$

$$\frac{2e}{\lambda} \cos(i_k) = \lfloor p_0 \rfloor - k + 1$$

$$\frac{2e}{\lambda} \left(1 - \frac{i_k^2}{2}\right) = \lfloor p_0 \rfloor - k + 1$$

$$\frac{2e}{\lambda} - \frac{e i_k^2}{\lambda} = p_0 - \varepsilon - k + 1$$

$$\frac{2e}{\lambda} - \frac{e i_k^2}{\lambda} = \frac{2e}{\lambda} - \varepsilon - k + 1$$

$$i_k = \sqrt{\frac{\lambda}{e} (\varepsilon + k - 1)}$$

$$\alpha_k = f' \sqrt{\frac{\lambda}{e} (\varepsilon + k - 1)}$$

Les anneaux sont plus serrés quand on s'éloigne du centre

Si le centre est brillant, p_0 est un entier

Quand e diminue chaque anneau se rétrécit et un anneau disparaît au centre chaque fois que p_0 franchit en décroissant une valeur entière.

"on tue tout d'un coup les autres ont plus de place pour vivre"

Les anneaux restants paraissent plus grands et plus espacés.

Pour $e = 0$, on a : $\forall i, p = 0$, la frange d'ordre 0 couvre tout l'écran, on ne voit plus d'anneau mais une toute plate. Les miroirs

III - Utilisation en coin d'air

sont au "contact optique"

Π_1 et Π_2 forment un dièdre d'angle α et délimitent un coin d'air.



α est très petit de l'ordre de $10^{\text{ème}}$ ou $100^{\text{ème}}$ de $^\circ$

1. Localisation et projection des franges

Les franges sont localisées sur les miroirs

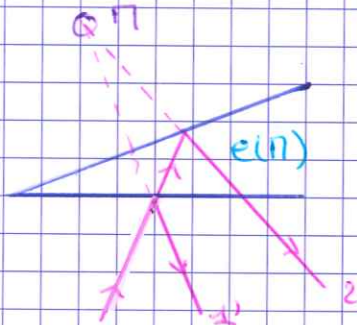
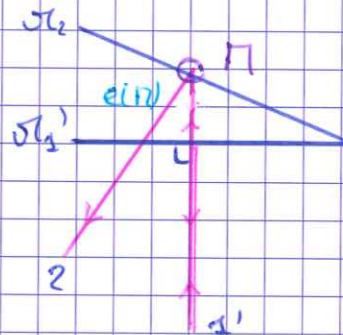
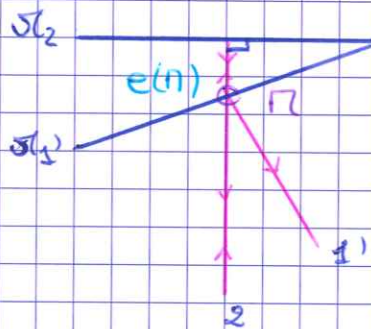
L'intersection des rayons est virtuelle

Pour les voir on scrute à l'œil nu les miroirs, ou bien on utilise une lentille qui met en conjugaison le plan des miroirs et le plan de l'écran (satisfait la relation de conjugaison)

⚠ L'écran n'est pas au plan focal !

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$$

2. différence de marche



On voit que les deux rayons se croisent tout près des miroirs, d'où la localisation des franges en Π

Soit $e(n)$ l'épaisseur locale du coin, on admet : $\delta(\Pi) = 2e(n)$

Soit Π' l'image de Π par une lentille sur l'écran.

$$\begin{aligned}\delta(\Pi') &= L_{Sn'_2} - L_{Sn'_1} \\ &= L_{Sn_2} + L_{\Pi\Pi'_2} - (L_{Sn_1} + L_{\Pi\Pi'_1}) \\ &= \delta(\Pi) + \underbrace{L_{\Pi\Pi'_2} - L_{\Pi\Pi'_1}}\end{aligned}$$

nul par le théorème du stigmatisme

La lentille donne sur l'écran une vue agrandie des franges sur l'écran.

4

démo en @ :

α très petit,

$S_1 S_2$ presque horizontal (sur le schéma)

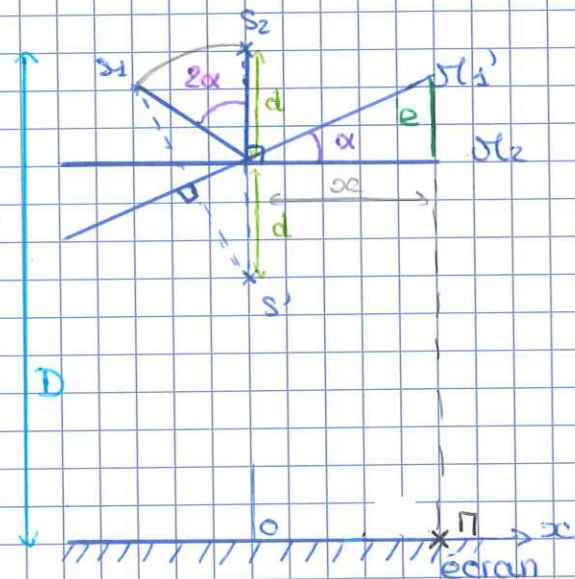
$$l = S_1 S_2 = d \times 2\alpha$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{l \alpha c}{D} \quad (\text{Young}) \\ &= \frac{2\alpha d \alpha c}{D} \end{aligned}$$

Si Π est sur les miroirs, $d = D$

$$\delta = 2\alpha x \quad \text{or} \quad e = x \tan \alpha \approx x\alpha$$

$$\delta = 2e(n)$$



cf. Figure 9

En Π donné δ ne dépend pas du point choisi sur la source, une source étendue ne produit pas de brouillage. (idem II.2)

3. Etude de la figure d'interférence

des franges sont définies par $\delta = \text{cste}$ donc $e(n) = \text{cste}$.

Ce sont des segments parallèles à la droite d'intersection de Π_2 et Π_1'

→ "franges d'égale épaisseur"

cf. Figure 10

$$\delta = 2e = 2x \tan \alpha \approx 2x\alpha$$

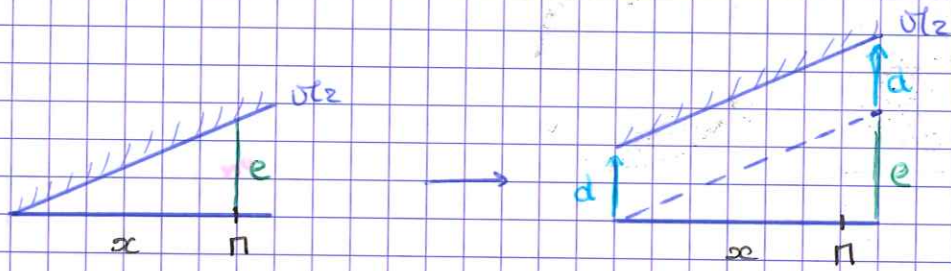
$$p = \frac{2x\alpha}{\lambda}$$

$$x_p = p \frac{\lambda}{2\alpha} \Rightarrow i = \frac{\lambda}{2\alpha}$$

Si α tend vers 0, les franges s'écartent, on parvient à la situation

$\Pi_1' = \Pi_2$ qu'on appelle "contact optique" → teinte plate.

Effet du charriottage (on translate l'un des miroirs)



Les franges défilent vers les x décroissants (vers la gauche)

nouvelle épaisseur: $e' = e + d$

$$\delta' = 2e' = 2e + 2d$$

$$\bar{\sigma}' = \bar{\sigma} + 2d \quad \Rightarrow \quad p' = p + \frac{2d}{\lambda}$$

Les franges d'égal épaisseur vues ici se rencontrent dans d'autres situations (bulle de savon...)