

Interférométrie.

INTERFEROMETRE A « N » ONDES : le FABRY-PEROT

IMPORTANT

- 1) Le faisceau laser ne doit jamais atteindre directement votre œil, qu'il peut endommager irrémédiablement. Le faisceau doit être observé par projection sur une feuille de papier.
- 2) Ne jamais toucher les composants optiques avec les doigts.

DESCRIPTION

L'interféromètre de Pérot-Fabry (PF) est un interféromètre à ondes multiples contrairement à l'interféromètre de Michelson où deux ondes seulement interfèrent- Pour cette raison, les franges d'interférences sont beaucoup plus étroites et plus largement espacées comme vous pourrez l'observer.

Le PF est constitué de deux miroirs semi-transparents parallèles (Figure 1). Supposons qu'une onde plane monochromatique pénètre dans le PF avec un angle d'incidence i (le plan d'onde étant perpendiculaire au plan de la feuille). La lumière résultante en sortie de l'interféromètre est la superposition de l'onde transmise directement, de l'onde transmise après 2 réflexions, de l'onde transmise après 4 réflexions etc... L'intensité de la lumière transmise dépend de l'angle d'incidence i , de l'épaisseur e de l'interféromètre et de la longueur d'onde λ de la lumière. Comme vous l'avez probablement déjà vu, elle peut être calculée comme une suite géométrique des ondes transmises directement, après 2 réflexions, ... , après $2n$ réflexions, ... Ce calcul ne présente pas ici d'intérêt direct : en effet, on s'intéressera seulement aux angles d'incidence pour lesquels l'intensité en sortie est maximale.

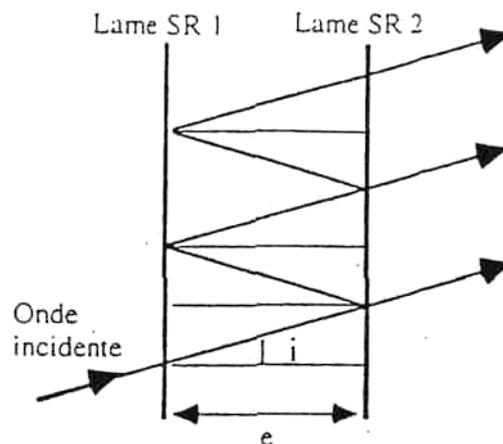


Figure 4. Représentation très schématique du PF. Les angles sont ici très exagérés pour la démonstration.

COMPLEMENTS THEORIQUES

- Ordre d'interférence et excédent fractionnaire
 - Montrer que la différence de marche δ entre l'onde incidente et l'onde transmise après une double réflexion s'écrit de la façon suivante :

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

On en déduit la différence de marche de l'onde incidente et de l'onde transmise après n

double réflexions, soit $n\delta$.

Pour que l'intensité transmise soit maximale, les ondes issues des multiples réflexions doivent être en phase dans un plan d'onde quelconque en sortie de l'interféromètre. Les interférences sont donc parfaitement constructives dans la direction d'angle i , quand la différence de marche après une double réflexion est un multiple de la longueur d'onde soit :

$$\delta = 2e \cos(i) = m\lambda,$$

m est un entier appelé ordre d'interférence.

L'épaisseur et la longueur d'onde étant à priori quelconques, l'interférence a peu de chances d'être parfaitement constructive sur l'axe ($i=0$). La différence de marche sur l'axe s'écrit alors :

$$\delta = 2e = (m_0 + \varepsilon)\lambda,$$

m_0 est l'ordre d'interférence sur l'axe, ε est un nombre réel (strictement compris entre 0 et 1) appelé excédent fractionnaire.

- Angles d'intensité transmise maximale

L'ordre d'interférence diminue quand l'angle d'incidence croît d'où les directions d'interférences constructives $i_1 < i_2 < \dots < i_n$:

$$\begin{aligned} 2e \cos i_1 &= m_0 \lambda \\ 2e \cos i_2 &= (m_0 - 1) \lambda \\ &\dots \\ 2e \cos i_n &= (m_0 - n + 1) \lambda \end{aligned}$$

Nous considérons les interférences suivant les directions proches de l'axe. Un développement limité au second ordre en i_n est suffisant. On en déduit une expression simple des angles i_n en fonction de l'excédent fractionnaire et de l'indice n :

$$i_n = \sqrt{(\varepsilon + n - 1) \frac{\lambda}{e}}$$

EXPERIENCE

a. Eléments de l'expérience

La source de lumière est un laser He-Ne de longueur d'onde dans le vide 632.8nm.

Le Pérot-Fabry est constitué des miroirs semi-transparents M1 et M2 (Figure 2). Les miroirs sont montés sur une base de fonte assurant une grande stabilité de l'ensemble.

Le miroir M1 a une position fixe mais on peut varier son inclinaison par rapport à l'axe optique, au moyen de 2 vis sur son support. Le miroir M2 est mobile suivant l'axe optique au moyen d'une vis micrométrique mais on ne peut varier son inclinaison. Il est possible de déplacer le miroir M2 avec une précision très inférieure à la longueur d'onde ($< 0,5 \mu m$) ; le déplacement de M2 est lu au μm près sur le tambour de la vis micrométrique. Vu de l'intérieur du PF, les miroirs ont un coefficient de transmission de 20%. Leur planéité est inférieure au quart de la longueur d'onde du laser (soit typiquement $0.1 \mu m$).

Comme vous le voyez, le Pérot-Fabry est un instrument de grande précision qu'il convient de manipuler avec délicatesse et précision (Rappel : En aucun cas, vous ne devez toucher les miroirs avec les doigts).

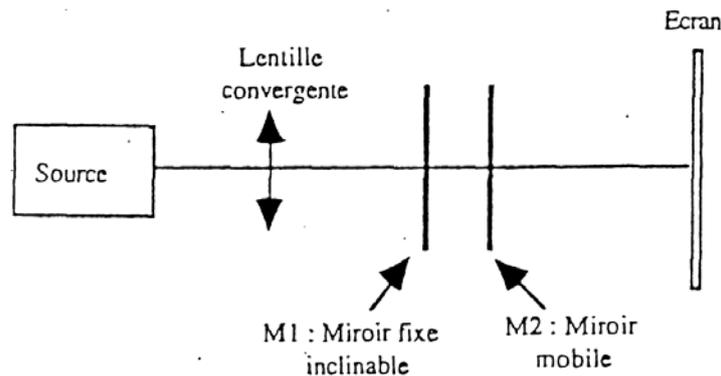


Figure 2. Schéma de principe de l'expérience

b. Mesure de la longueur d'onde du laser He-Ne par défilement des franges

A titre de manipulation préliminaire, projeter le faisceau laser sur une feuille de papier et déplacer cette feuille le long du faisceau sur quelques dizaines de cm. Comment évolue le diamètre du faisceau ? Quelle propriété en déduisez-vous quant à la lumière émise ?

Installer le laser sur le banc d'alignement et l'écran. Cette première phase est réalisée sans la lentille. La difficulté de l'expérience est de rendre les deux miroirs M1 et M2 exactement parallèles. En principe, le miroir M2 est réglé perpendiculairement à l'axe optique (c'est à dire l'axe du pinceau lumineux) et vous n'avez pas à y toucher. En l'état, vous devez observer sur l'écran plusieurs points lumineux issus des multiples réflexions dans le PF dont les lames ne sont pas parallèles. Il s'agit de superposer tous ces points en agissant sur l'inclinaison du miroir M1 (grâce aux deux vis sur le support de M1). Le réglage est correct quand le point lumineux obtenu scintille. Pourquoi ?

Eteindre le laser et insérer la lentille convergente de focale 18mm sur l'axe optique. Allumer le laser et ajuster doucement la lentille jusqu'à obtenir un système d'anneaux à l'écran. Le réglage précédent est grossier ; le système d'anneaux n'est donc pas bien centré. Avec beaucoup de précautions, vous pouvez agir sur l'inclinaison de M1 et centrer parfaitement le système d'anneaux.

Pourquoi obtient-on un système d'anneaux (on demande ici une réponse faisant appel au simple bon sens) ? Quel est l'intérêt de la lentille convergente ? Ce système d'anneaux subsiste-t-il, à votre avis, quand on enlève la lentille et pourquoi ?

Déplacer le miroir M2 suivant l'axe optique en utilisant la vis micrométrique prévue à cet effet. Décrivez et expliquez les phénomènes observés. En faisant défiler les franges d'interférences, mesurer la longueur d'onde du laser He-Ne et déterminer l'incertitude sur cette mesure.

Mesurer les angles i_n d'intensité maximale et vérifier la loi des angles d'intensité maximale en traçant la courbe de votre choix.