

Interféromètre de Michelson

DEMONSTRATION ET ANALYSE DU FONCTIONNEMENT D'UN INTERFEROMETRE DE MICHELSON.

- Détermination de la longueur d'onde de la lumière laser.
- Détermination de l'indice de réfraction de l'air en fonction de la pression d'air.

UE4030410

02/17 JS/ALF

NOTIONS DE BASE GENERALES

Initialement, l'interféromètre de Michelson a été développé par A. A. Michelson pour démontrer le mouvement de la Terre par rapport à l'« éther ». Mais son principe (cf. Fig. 1) est d'une importance capitale, car il peut être utilisé pour des mesures interférométriques, par ex. pour des modifications de longueurs, des épaisseurs de couches ou des indices de réfraction : un faisceau lumineux divergent est divisé par une lame semi-réfléchissante en deux faisceaux partiels qui suivent différents chemins. Ces deux faisceaux partiels sont réfléchis puis de nouveau réunis par superposition sur un écran d'observation. Là, on obtient une image d'interférence qui réagit avec sensibilité aux modifications de la distance optique du trajet, donc du produit résultant de l'indice de réfraction et de la longueur géométrique du trajet, d'un faisceau partiel. Lorsque l'indice de réfraction est maintenu constant, il est alors possible de déterminer les modifications du parcours géométrique, par ex. les modifications de longueur des matériaux par la dilatation thermique de ces derniers. En revanche, lorsque le parcours géométrique est maintenu constant, il sera possible de déterminer les indices de réfraction et leurs modifications par des modifications de pression, de température ou de densité.

Selon que la longueur de trajet optique est augmentée ou réduite, des franges d'interférence apparaissent ou disparaissent au centre de l'image. Il existe un rapport entre la modification Δs de la longueur de trajet optique et la longueur d'onde lumineuse λ :

$$(1) \quad 2 \cdot \Delta s = z \cdot \lambda,$$

le nombre entier positif ou négatif z donnant le nombre de franges d'interférence qui apparaissent ou disparaissent de l'écran.

Si l'on déplace l'une des deux lames dans l'air d'un trajet très précis Δx pour mesurer la longueur d'onde lumineuse, on pourra utiliser comme indice de réfraction $n = 1$ dans une bonne approximation. La modification du trajet optique est donc :

$$(2) \quad \Delta s = \Delta x$$

La situation est différente si l'on place une chambre sous vide de longueur d dans un faisceau partiel. Lorsqu'on laisse pénétrer de l'air et augmenter la pression atmosphérique dans la chambre à une valeur p , le trajet optique est modifié de

$$(3) \quad \Delta s = (n(p) - 1) \cdot d = A \cdot p \cdot d,$$

car le rapport entre la pression et l'indice de réfraction de l'air à température constante peut être représenté de la manière suivante

$$(4) \quad n(p) = 1 + A \cdot p.$$

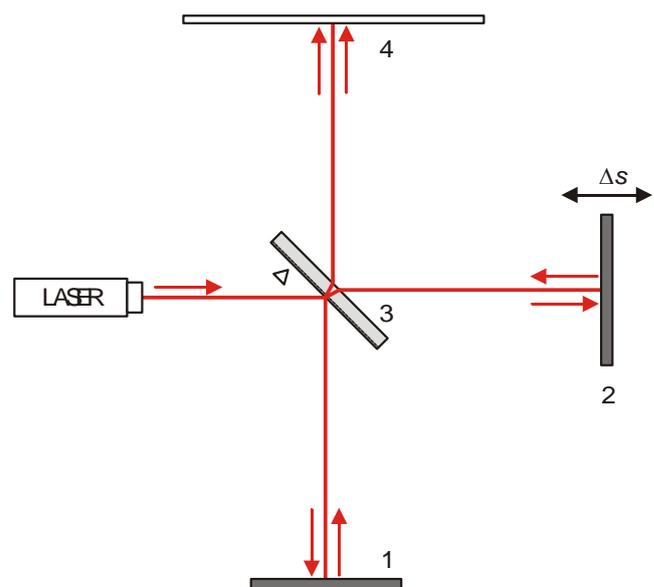


Fig.1 : Trajet du faisceau dans un interféromètre de Michelson

- 1 : miroir fixe, 2 : miroir mobile,
3 : séparateur de faisceaux, 4 : écran

LISTE DES APPAREILS

1	Interféromètre	1002651 (U10350)
1	Complément à l'interféromètre	1002652 (U10351)
1	Laser Hélium-Néon	1003165 (U21840)
1	Pompe à vide manuelle	1012856 (U205001)
1	Tuyau flexible en silicone 6 mm	1002622 (U10146)

MONTAGE



Fig. 2 : Interféromètre de Michelson

Remarque : au-dessus du plan de travail, le faisceau lumineux doit avoir une hauteur minimale de 60 à 62 mm.

- Placez l'interféromètre aussi horizontalement que possible sur une table stable.
- Montez le laser sur le support pour laser en utilisant la rallonge six-pans et placez-le aussi verticalement que possible devant la lentille d'élargissement.
- Retirez le miroir fixe et le séparateur de faisceaux.
- Desserrez la vis moletée de la lentille d'élargissement et faites pivoter cette lentille du parcours du faisceau.
- Réglez le laser afin que son faisceau tombe au centre du miroir coulissant et que le faisceau réfléchi retombe au centre du laser.
- Faites d'abord pivoter la lentille d'élargissement à titre d'essai dans le parcours du faisceau et corrigez ce dernier afin qu'il soit touché au centre.
- Faites ensuite pivoter de nouveau la lentille d'élargissement du parcours du faisceau.
- Montez le miroir fixe et ajustez-le en utilisant les vis de réglage afin que la distance entre la plaque de support du miroir et le support lui-même soit partout égale à environ 5 à 6 mm.
- Montez le séparateur de faisceaux afin que la face en partie réfléchissante, marquée par un triangle, s'oriente du côté de la division angulaire et afin que les deux points les plus clairs visibles à l'écran d'observation se placent autant que possible sur une ligne verticale.
- Ajustez le miroir fixe afin que les deux points les plus clairs visibles à l'écran se recouvrent exactement.
- Faites pivoter de nouveau la lentille d'élargissement dans le rayon et vissez-la à fond dans la position où l'emplacement le plus clair de l'image se trouve dans la

mesure du possible au centre de l'écran.

- Inclinez l'écran sur le plan vertical afin que l'observateur ait une image claire et nette.
- Réajustez le miroir fixe afin que les anneaux d'interférence restent au centre de l'écran.

REALISATION

Détermination de la longueur d'onde de la lumière laser :

Remarque : pendant les mesures, évitez autant que possible que de l'air inhalé ne s'infilte dans le parcours du rayon, des changements dans la densité de l'air se manifestant directement par des anneaux d'interférence « continus ».

- Dévissez d'abord la vis micrométrique d'environ 25 mm dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, puis revissez-la lentement dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à la valeur $x(0) = 20,00$ mm.
- Continuez ensuite à tourner lentement la vis micrométrique dans le sens des aiguilles d'une montre, jusqu'à la formation de 30 anneaux d'interférence complets.
- Relevez la position $x(30)$ sur la vis micrométrique et consignez les résultats.

Détermination de l'indice de réfraction de l'air en fonction de la pression d'air :

- Tournez le séparateur de faisceaux afin que la couche en partie réfléchissante s'oriente à droite vers l'arrière.
- Placez la cellule à vide dans le faisceau partiel droit (cf. Figure 3).
- Raccordez la pompe à vide à la cellule à vide.
- Effectuez un réglage minimal du miroir ajustable afin que les anneaux d'interférence restent au milieu de l'écran.
- Évacuez lentement la cellule à vide et comptez le nombre z des anneaux disparaissant.
- Relevez la sous-pression p à intervalles réguliers et consignez le nombre correspondant z .

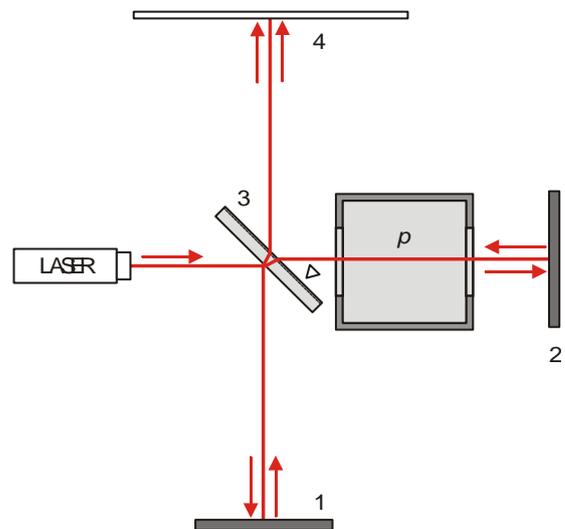


Fig.3 : Chambre à vide dans la marche du rayon de l'interféromètre de Michelson

EXEMPLE DE MESURE

Détermination de la longueur d'onde de la lumière laser :

$z = 30$, $x(0) = 15,98$ mm, $x(30) = 7,77$ mm,
Rapport de multiplication : 1/830

Détermination de l'indice de réfraction de l'air en fonction de la pression d'air :

Tableau 1 : nombre z des anneaux d'interférence se formant par le vidage d'une cellule à vide en fonction de la différence de pression Δp

$\Delta p / \text{hPa}$	p / hPa	z
220	780	10
420	580	16,5
550	450	21,5
650	350	25
720	280	28
780	220	30
800	200	31
820	180	32
840	160	33

ÉVALUATION

Détermination de la longueur d'onde de la lumière laser :

À partir de (1) et (2), on obtient comme équation pour le calcul de la longueur d'onde lumineuse résultant du trajet de déplacement de la lame :

$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta x}{z}$$

Le parcours de déplacement du miroir nécessaire à la formation de 30 anneaux d'interférence est de :

$$\Delta x = \frac{x(0) - x(30)}{830} = 9,9 \mu\text{m}$$

$$\text{Le résultat est donc : } \lambda = \frac{2 \cdot \Delta x}{z} = 660 \text{ nm}$$

Valeur du tableau : $\lambda_{\text{HeNe}} = 632,8$ nm

Détermination de l'indice de réfraction de l'air en fonction de la pression d'air :

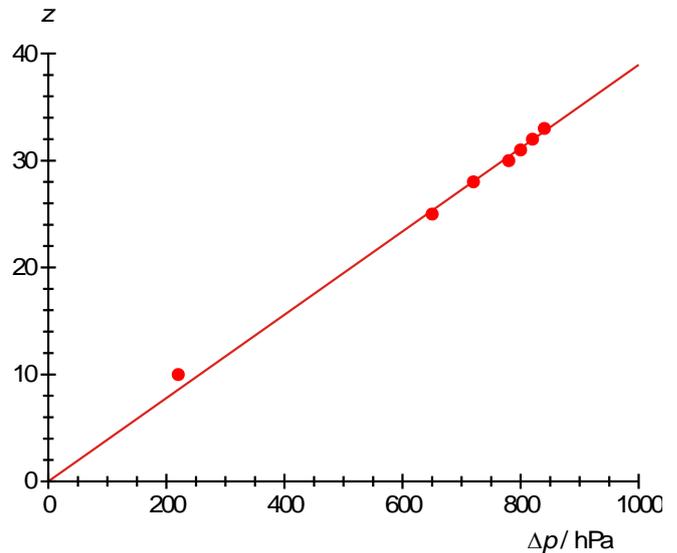


Fig. 4 : Nombre des franges d'interférence en fonction de la différence de pression

La figure 4 illustre dans un diagramme la dépendance du nombre z des franges d'interférence, formées par pompage, de la différence de pression Δp . Dans le cadre de la précision de mesures, les points de mesure se trouvent sur une droite d'origine dont la pente est :

$$a = \frac{2 \cdot A \cdot d}{\lambda} = 0,039 \frac{1}{\text{hPa}}$$

Le résultat est donc :

$$A = \frac{a \cdot \lambda}{2 \cdot d} = 0,30 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{hPa}}$$

Pour une pression normale, l'indice de réfraction de l'air est donc de :

$$n = 1 + A \cdot 1000 \text{ hPa} = 1,0003$$

