

LP34 – INTERFÉROMÉTRIE À DIVISION D'AMPLITUDE

17 juin 2021

Nicolas Barros & Abel Feuvrier

Oui
MR C

Comment appelle-t-on un interféromètre de
Michelson réglé au hasard ? Un coin d'air surprise.

*Moi, 200 mauvaises blagues de physique pour rater
vos oraux avec panache*

Niveau : M2 enseignement

Commentaires du jury

Bibliographie

↗ *LP34*, les anciens
↗ *Compléments*, Édouard Thibierge
↗ *Optique*, Houard
↗ *Jolidon bleu*, Jolidon

→ Cléments, Paca, Marc, etc.
→ Riche
→ Le sang
→ Expériences

Prérequis

- Trous d'Young, fentes d'Young
- Notion de cohérence

Expériences

- ☕ Mumuse avec les trous/fentes d'Young
- ☕ Mumuse avec le Michelson
- ☕ Mumuse avec le Fabry-Pérot si on a le temps

Table des matières

1	Localisation des interférences	2
1.1	Condition de non-brouillage	2
1.2	Théorème de localisation	2
2	Interféromètre de Michelson	3
2.1	Structure	3
2.2	Coin d'air	3
2.3	Lame d'air	3
3	Interféromètre de Fabry-Pérot	4
3.1	Structure	4
3.2	Intensité transmise	4
3.3	Finesse et résolution	5

Il faut encore que je mette les images mais globalement ça me semble bouclé. C'est assez expérimental mais on est là pour ça, la partie 3 est un bon tampon, y a moyen de caser des applications numériques, de l'Histoire des sciences, des incertitudes... C'est un beau titre de leçon

Introduction

La dernière fois on a vu les trous d'Young. On a vu que pour obtenir une figure d'interférences plus lumineuse, on pouvait passer des trous aux fentes d'Young (car la différence de marche était indépendante de y au premier ordre en $\sqrt{x^2 + y^2}/D$). En revanche, on doit toujours utiliser une source ponctuelle. Aujourd'hui, on va voir des dispositifs qui permettent d'obtenir des figures d'interférences lumineuses et bien contrastées.



Mise en évidence des effets de l'élargissement des sources dans l'expérience des fentes d'Young

On fait le montage du MP8 interférences lumineuses qui permet de voir le brouillage. Pour observer les interférences, on doit restreindre l'étendue spatiale de la source avec une fente : si on l'élargit, les interférences se brouillent. On peut le montrer en live.

1 Localisation des interférences

1.1 Condition de non-brouillage

Le problème général est le suivant : on a deux sources S et S' très proches, non cohérentes entre elles, qui produisent à travers l'interféromètre deux figures d'interférences. À quelle condition ces deux figures sont-elles identiques¹, c'est-à-dire à quelle condition on n'a pas de brouillage au point M de l'écran ?

La condition s'écrit $\delta(M) = \delta'(M)$. Des gens compétents ont montré que cette condition s'écrit $\overrightarrow{SS'} \cdot (\overrightarrow{u}_1 - \overrightarrow{u}_2) = 0$ (voir le rapport des Cléments ou celui de Paca pour le développement).

Pour annuler ce produit scalaire, on peut :

- soit choisir $\overrightarrow{SS'}$ orthogonal à $(\overrightarrow{u}_1 - \overrightarrow{u}_2)$: c'est une contrainte géométrique sur la source. C'est ce qu'on fait en passant des trous d'Young aux fentes d'Young.
- soit annuler $(\overrightarrow{u}_1 - \overrightarrow{u}_2)$, c'est-à-dire ne faire interférer que des rayons issus d'une même source, c'est-à-dire faire de l'**interférométrie à division d'amplitude**² : c'est une contrainte sur l'interféromètre. C'est ce qu'on va faire.

↓ On aboutit donc naturellement au

1.2 Théorème de localisation

Rappelons que nous avons raisonné sur un seul point de l'écran. Notre résultat est donc, formellement :

Seuls les dispositifs à division d'amplitude donnent lieu à des interférences contrastées pour une source arbitrairement étendue. Mais alors ce contraste est localisé au point d'intersection des rayons issus d'un même rayon initial.

1. Au premier ordre hein, on fait de la physique quand même

2. D'où le titre de la leçon!!!

↓ On a voir quelques interféromètres à division d'amplitude usuels.

2 Interféromètre de Michelson

2.1 Structure

Détailler un peu : miroirs, lames, écran.

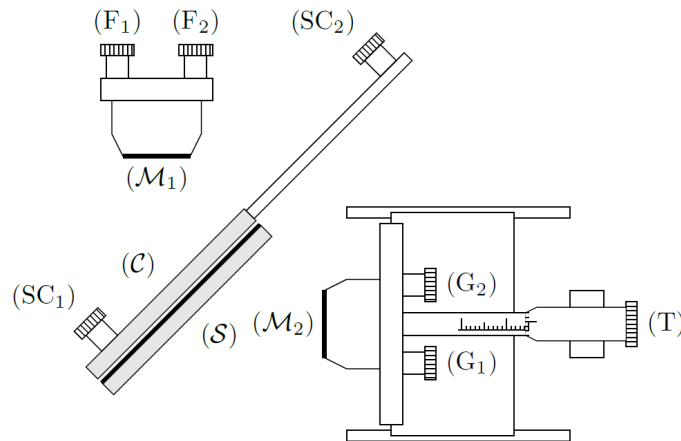


FIGURE 1 – Schéma de l'interféromètre de Michelson

La compensatrice évite elle d'éventuels astigmatismes et dispersions dans le verre lors de l'utilisation de sources étendues ou polychromatiques.

2.2 Coin d'air

Dans cette configuration, les miroirs ne sont pas parallèles mais sont décalés d'un angle α . Faire un petit schéma avec un rayon incident : si on veut observer les deux rayons émergeant à la fois conformément à la partie 1, il faut regarder au niveau des miroirs; si on ne veut observer que les rayons émergeants correspondant à ce rayon incident conformément à la partie 1, il faut éclairer en onde plane.



Interféromètre de Michelson en coin d'air

↗ Jolidon bleu par exemple

⊗ vite

On met en place l'éclairage et le dispositif d'observation idoines sur le Michelson (technique de la feuille déchirée pour bien faire l'image des miroirs). on observe les franges rectilignes. On montre que si on bouge un peu l'écran (observation pas sur les miroirs), ça se brouille.

Pour expliquer l'allure de la figure d'interférences (franges rectilignes), on calcule l'expression de la différence de marche δ . Pour ce faire on utilise les propriétés de l'onde plane : le déphasage entre deux points liés par un vecteur $\vec{r}$ est donnée par $\delta = \vec{k} \cdot \vec{r}$. On trouve donc $\delta = 2\alpha x$, ce qui est une formule analogue à celle des trous d'Young : on trouve bien des franges rectilignes.

Si on se sent chaud (et qu'on a bien pré-réglé l'interféromètre), on peut aller au contact optique et montrer le principe de la mesure d'indice du gaz d'un briquet.

2.3 Lame d'air

Dans cette configuration, les miroirs sont parallèles : un rayon donne donc deux rayons parallèles en sortie. D'après la partie précédente, c'est l'interférence de ces deux rayons parallèles qui nous intéresse, donc on va observer les

interférences à l'infini optique (dans le plan focal image d'une lentille convergente). De plus, comme on veut une figure de diffraction d'étendue non nulle, on ne va pas éclairer en onde plane³ mais en onde sphérique.

Faire un petit schéma qui va bien avec un rayon incident et les deux rayons sortant.



Interféromètre de Michelson en lame d'air

⚡ Jolidon bleu par exemple

⊗ vite f

On met en place l'éclairage et le dispositif d'observation sur le Michelson soigneusement pré-réglé, on observe les franges d'égales inclinaisons. On montre que si on bouge un peu l'écran (observation pas à l'infini), ça se brouille.

On peut aussi faire comme les Cléments et montrer que la localisation des interférences est une conséquence de l'élargissement de la source en utilisant un diaphragme.

Pour expliquer l'allure de la figure d'interférence (franges d'égale inclinaison), on dépie et on calcule la différence de marche pour un rayon arrivant avec un angle d'incidence i par rapport à la normale aux miroirs : on obtient $\delta = 2e \cos(i)$.

Utilisation : doublet du sodium. Voir Jolidon pour le protocole.

Remarque

On a du brouillage, c'est même ce qui nous permet de faire la mesure ; cependant ce brouillage n'est pas dû à l'étendue spatiale de la source, mais à son étendue spectrale.

Configuration	Coin d'air	Lame d'air
Éclairage	Onde plane	Onde sphérique
Localisation des interférences	Miroirs	Infini optique
Différence de marche	$2\alpha x$	$2e \cos(i)$

TABLE 1 – Récapitulatif des résultats obtenus sur l'interféromètre de Michelson

3 Interféromètre de Fabry-Pérot

3.1 Structure

Deux lames parallèles partiellement réfléchissantes. Par analogie avec le Michelson en lame d'air, on observe les interférences à l'infini optique et on éclaire en onde plane.

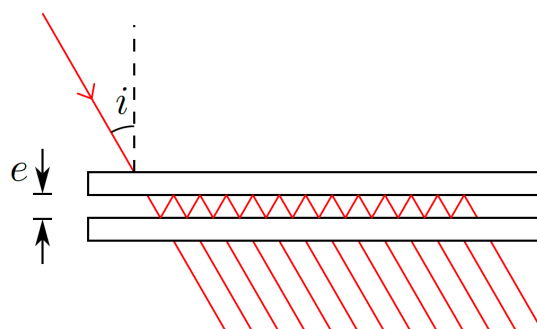


FIGURE 2 – Schéma de l'interféromètre de Fabry-Pérot

3.2 Intensité transmise

Le calcul est achement bien fait sur wikipédia. On raisonne sur un rayon : on établit la relation entre le rayon incident et le premier rayon sortant, puis entre deux rayons sortants consécutifs, puis le champ total, puis l'intensité totale. On arrive à :

3. Sinon ça donne un point à travers la lentille convergente.

$$t(\Phi) = I(\Phi)/I_0 = \frac{1}{1 + m \sin^2(\Phi)} \quad \text{avec } \Phi = \frac{2\pi}{\lambda} ne \cos(\theta) \quad \text{et} \quad m = \frac{4R}{(1 - R)^2} \quad (1)$$

On trace le graphe (un code est dispo au MP résonance).

3.3 Finesse et résolution

On définit l'intervalle spectral libre, la finesse, on donne des ordres de grandeurs (cf MP résonance). On remarque que le Michelson a une finesse de 2.

La plus grande finesse du Fabry-Pérot (pouvant aller jusqu'à 10^4 permet par exemple de produire des sources quasiment monochromatiques (laser). Faire une petite application numérique si il reste du temps, pour se conclure que c'est performant ces bestioles.

Conclusion

L'interférométrie à division d'amplitude permet d'obtenir des figures d'interférence lumineuses et bien contrastées, ce qui permet des mesures précises, sous certaines conditions d'utilisation.