

MP7. Interférences ^{lumineuses} Conditions d'obtention

On parle d'interférence de 2 ondes quand l'intensité mesurée en 1 point éclairé par 2 sources

$\neq \Sigma$ des intensités provenant de chaque source.

Ce phénomène existe quelque soit la nature de l'onde en question (vagues à la surface de l'eau, ondes sonores, ondes électromagnétiques dans un circuit) mais revêt une importance particulière en optique.

→ a permis de confirmer le caractère ondulatoire de la lumière (suggéré tôt par la diffraction)

→ mise en application dans les instruments de mesure → précisions exceptionnelles.

Manip d'intro = observable par ex = film mince de savon

~~Historiquement, c'est Thomas Young qui en 1804 a constaté le phénomène d'interférence.~~

Pour obtenir des interférences, il faut diviser un rayon incident provenant d'une source unique en 2 ondes distinctes qui vont effectuer des trajets différents. Il existe 2 types de dispositifs interférentiels =

- les dispositifs à division du front d'onde

L'onde est divisée spatialement en 2 ondes de quasi même amplitude. Ces 2 ondes suivent ensuite 2 chemins $\neq$ pour interférer dans l'espace.

Elle peut être obtenue grâce à la diffraction (interféromètre de Young) ou grâce à des dispositifs optiques qui créent généralement 2 images stigmatiques S_1 et S_2 de la source primaire S (miroirs de Fresnel, biprisme de Fresnel, miroir de Lloyd...)

- les dispositifs à division d'amplitude.

L'onde est divisée en amplitude à l'aide d'une lame semi-transparente. L'onde réfléchie et l'onde transmise suivent 2 chemins $\neq$ pour interférer dans une région de l'espace.

ex = interféromètre de Michelson, Fabry Péro, Fizeau, + les filtres interférentiels et les bulles de savon.

Plan: I) Interférométrie à division du front d'onde

II) Interférométrie à division d'amplitude.

Dans la suite, on adopte le modèle scalaire de la lumière

(La condition d'interférence sur la polarisation $\rightarrow$ exp de Fresnel et Arago) $\rightarrow$ ondes pas polarisées

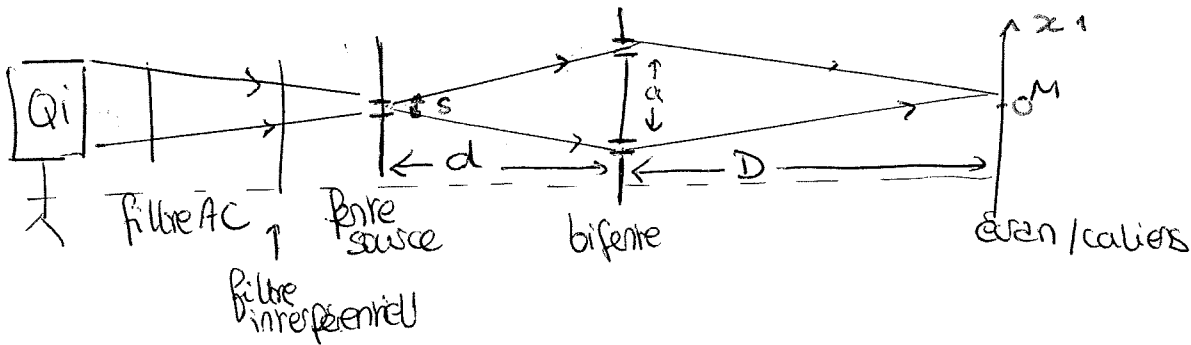
MP 7 (2)

I) Interférences par division du front d'onde

[Avec les fentes d'Young]

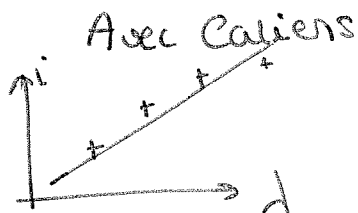
Rq: 1^{ère} exp de Young
1801 [hist]

I.1) Montage.



On utilise le dispositif des fentes d'Young en lumière blanche (quartz iode) et on place un filtre coloré pour s'affranchir de la cohérence temporelle. (→ mise en évidence du pb de cohérence temporelle avec la Qi = superposition incohérente de plusieurs figures d'interférences décalées), chaque λ crée son propre système de franges). Interférences non localisées → on fait bouger l'écran → Interférences visibles.

I.2) Vérification de $i = \frac{\lambda D}{a}$



$$i = A\lambda + B$$

avec $\begin{cases} D = \\ a = \end{cases}$

$$Gn\ mq = I(M) = 2I_0 \left(1 + \sin \left(\frac{\pi a s}{\lambda D} \right) \cos \left[2\pi \frac{a z}{\lambda D} \right] \right)$$

lié à l'extension spatiale de la source

propre aux interférences

I-3) Estimation de la longueur de cohérence spatiale

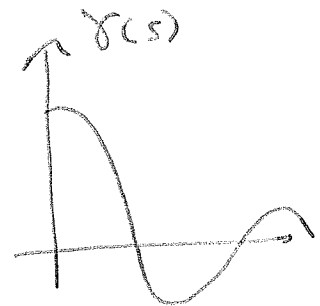
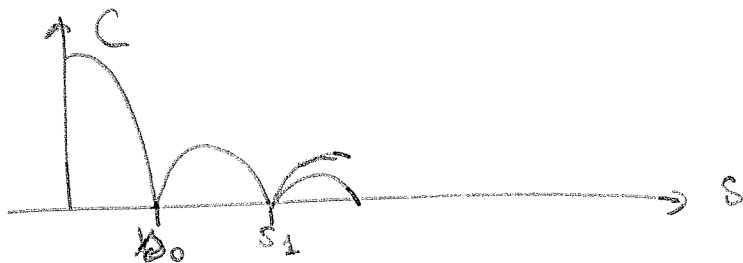
terme $\sin\left(\frac{\pi a s}{\lambda d}\right) = \gamma(s)$ si $\frac{\pi a s}{\lambda d} \rightarrow 0$ alors

$$I(s) = 2I_0 \left(1 + \cos\left(\frac{\pi a s}{\lambda d}\right)\right) \rightarrow \text{on retrouve le cas d'une source ponctuelle (ou source primaire fig.)}$$

On va mettre en évidence le pb de cohérence spatiale: l'étendue de la scs a une influence sur le contraste des fig d'interférences $\rightarrow$ si la scs est trop large $\rightarrow$ les franges perdent de leur netteté.

$$\rightarrow C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \gamma(s) \text{ si } \gamma(s) > 0$$

les niles franges brillantes $= -\gamma(s)$ si $\gamma(s) < 0$
ont pris la place des anciennes franges sombres $\rightarrow$ on parle d'inversion de contraste.



Si $s \geq 0 \rightarrow C \approx 1$ contraste max. cohérence spatiale complète.

les interférences sont contrastées.

$C \searrow$ lorsqu'on continue à ouvrir la fente.

• Si s augmente, $C = 0$ pour $\frac{\pi a s}{\lambda d} = \pi$ i.e. $s_0 = \frac{\lambda d}{a}$

les interférences disparaissent il y a travailage

• Si $s \uparrow$, $\frac{\pi a s}{\lambda d} \in]\pi, 2\pi]$, $C \uparrow$ de nouveaux

valeurs petites mais non nulles, observables interférences avec amb. faible contraste, $\gamma(s) < 0 \rightarrow$ inversion de contraste.

MP7
③

largeur de cohérence
spatiale

$$S_0 =$$

$$S_{0th} = \frac{d^2}{\lambda} =$$

Se spatialement
cohérente qd
 $\Delta s \leq \frac{d^2}{\lambda}$

Plus on Δs , plus on gagne en contraste mais on perd en intensité lumineuse $\rightarrow$ compromis

Rq = Application du brouillage = mesure du diamètre des étoiles.

$$\left[\text{On peut écrire } \Delta s \leq \frac{d^2}{\lambda} \Leftrightarrow a \Delta \theta \leq d \right]$$

"
 $\frac{S}{d} \approx \Delta \theta$ = angle que font entre eux les rayons qui passent par les fentes

On peut l'étendre au cas d'une source étendue sur une surface S . le dispositif interférentiel doit être placé sur une aire $\propto A \propto a^2$ c-à-d tq $A \propto a^2 \leq \frac{d^2 \lambda^2}{S}$

et $A \approx \frac{d^2}{\Delta \Omega}$ $\Delta \Omega$ = angle solide S lequel est vu la source

$$OG = d = 500 \text{ nm}$$

Pour une étoile diamètre angulaire $= 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ rad}$
 $\Rightarrow A = 6 \text{ m}^2$

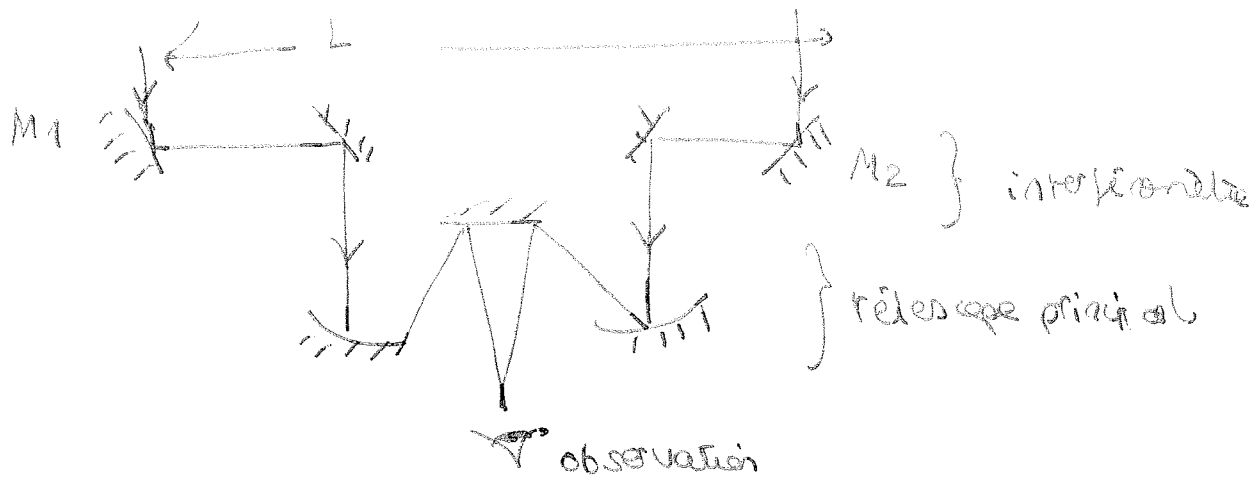
Ppe: si dispositif interférentiel + étendue quel'aire de cohérence $\rightarrow$ disparition des interférences.

On a une cohérence (A) dépend de la taille angulaire de la source $\rightarrow$ méthode de mesure de la taille angulaire

1920: Michelson et Pease mesure du diamètre angulaire de l'étoile Bételgeuse.

Ils ont monté sur le télescope de 2,5 m du mont Wilson un rail sur lequel étaient placés 4 miroirs dont les 2 extrêmes pouvaient se déplacer latéralement $\rightarrow$ régler la séparation des fentes d'Young.

décreo du brouillage des franges $\rightarrow$ Δs $\rightarrow$ cohérence spatiale
 $\rightarrow$ taille angulaire de l'étoile $\rightarrow$ $\Delta \theta$



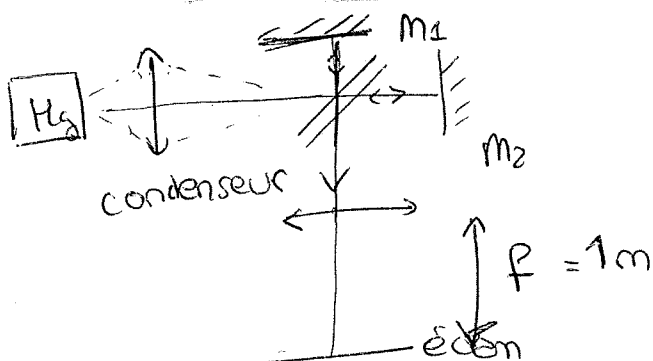
II) Interférométrie par division d'amplitude

Interféromètre de Michelson

Intéressant = à l'origine pas appliqué en interférence mais du but de montrer l'existence de l'éther (cf. relativité)

Intérêt = on peut s'affranchir des pb de perte de cohérence spatiale.

II) 1) Localisation des franges avec configuration de Michelson



Les franges sont localisées à ∞

MP7

II. 2] Source polychromatique = cohérence temporelle

(4)

Une source spectrale peut émettre plusieurs raies spectrales. Par ex, raie jaune du double sodium = un doublet ($\lambda_1 = 589,0 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}$)

Chacune de ces raies forme son propre syst de franges d'interférence avec sa propre interférence. La superposition de ces systèmes conduit à un brouillage des franges.

En supposant que les 2 raies ont la même intensité on a :

$$I = 4 I_0 \left\{ 1 + \cos \left[\pi \delta \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_2} \right) \right] \cos \left(\pi \frac{\delta (\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \lambda_2} \right) \right\}$$

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$$

$$\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

$$\text{et } \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_2} \approx \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0^2}$$

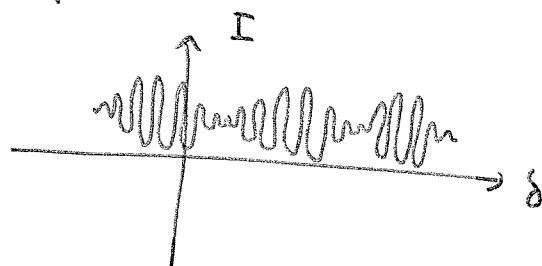
à l'ordre 2 + bases $\frac{\Delta \lambda}{\lambda_0}$

$$I = 4 I_0 \left\{ 1 + \underbrace{\cos \left(\pi \frac{\delta \Delta \lambda}{\lambda_0^2} \right)}_{\gamma(\delta)} \cos \left(\frac{2\pi \delta}{\lambda_0} \right) \right\}$$

$\gamma(\delta)$ enveloppe

Le facteur de contraste vaut :

$$C = |\gamma(\delta)|$$



Le brouillage a lieu quand

$$\frac{\pi \delta \Delta \lambda}{\lambda_0^2} = \frac{\pi}{2} + m \pi$$

Au voisinage du centre de la figure d'interférence $\delta \approx 2e_n \cos(\theta_n)$

$$\Rightarrow \pi \frac{2e_n \Delta \lambda}{\lambda_0^2} = \frac{\pi}{2} + m \pi$$

$$\Rightarrow e_n = \frac{\lambda_0^2}{4 \Delta \lambda} + m \frac{\lambda_0^2}{2 \Delta \lambda}$$

⇒ En 2 bruits successifs :

$$\Delta e = e_{n+1} - e_n = \frac{d_0^2}{2\Delta d}$$

$$\Rightarrow \Delta d = \frac{d_0^2}{2\Delta e}$$

avec $d_0 = 589 \text{ nm}$

$$\Delta e = 930 \text{ nm} \pm 0,02 \text{ nm}$$

$$\Rightarrow \Delta d = 0,58 \text{ nm} \\ \approx 0,6 \text{ nm}$$

$$\Delta d_{\text{tab}} = 0,6 \text{ nm}$$

incertitude: $\frac{d\Delta d}{\Delta d} = \frac{d\Delta e}{\Delta e}$

$$\Rightarrow d\Delta d = \left(\frac{0,02}{0,30} \right) \times 0,58 = 0,04 \text{ nm}$$

$$\Delta d = 0,58 \pm 0,04 \text{ nm}$$

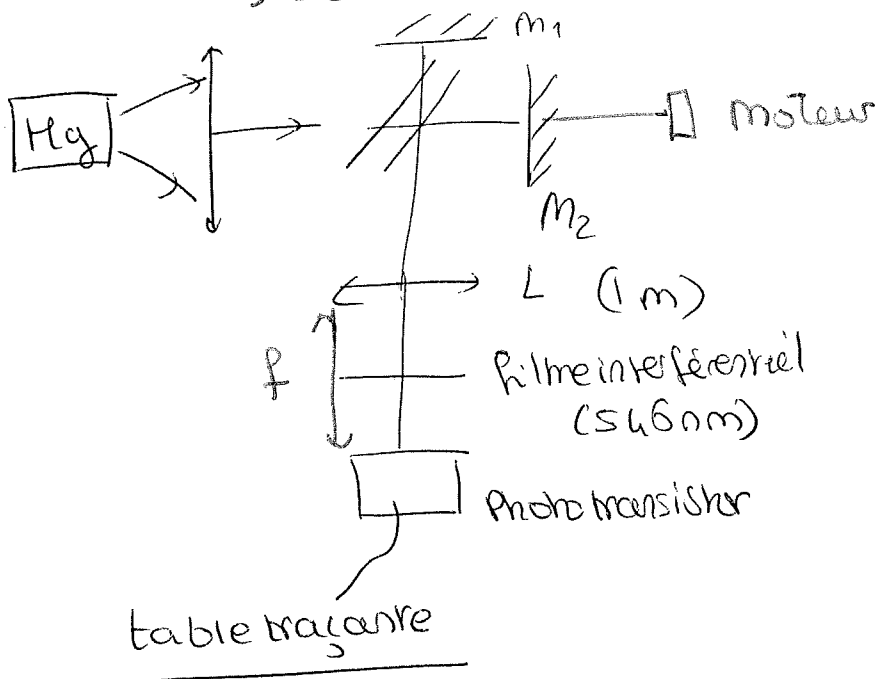
intérêt: mesure une dim de l'ordre de quelques atomes
en la comparant à une dim macro.
($\sim 0,3 \text{ nm}$) ($\sim 0,6 \text{ nm}$)

MP7
④

II.3) Application spectroscopique [2] (+délicat)

↳ Illustration du problème de cohérence temporelle

↳ Estimation de la largeur de la raie verte du mercure



- Michelson en lame à faces parallèles
- Utilisation du moteur pour un chariotage ϕ .
- Défilement des anneaux sur le phototransistor.

Table traçante I(t) $\Rightarrow$ allure du profil spectral de la raie verte (lorentzienne)

Ppe: lt à l'heure: sce pas parfaitement monochromatique (2 d)

- ici $\rightarrow$ la durée d'émission de la lumière par un processus élémentaire est tj finie $\rightarrow$ on dit que la sce émet un train d'onde de durée finie Δt .

À un train d'onde donné ds le temps, correspond un spectre de Fourier de largeur spectrale $\Delta \nu$ finie avec $\Delta t \Delta \nu \geq 1$
On considère une uniq raie de largeur à mi hauteur $\Delta \nu$, on montre que

Le contraste des franges d'interférences $\rightarrow 0$ lorsque $\Delta \nu$ augmente.

Cette ~~différence~~ de contraste met en jeu une longueur

caractéristique $L_{coic} \approx \frac{c}{\Delta \nu}$

$\frac{L_{coic}}{c}$ = durée de cohérence temporelle

$\approx$ comparable à la durée moy. Δt des trains d'ondes.

On recherche la δ_{max} pouvant exister entre les 2 ondes qui interfèrent sans brouillage des franges.

NB = Lampe Hg haute pression de vapeur = Les anneaux sont + lumineux et chariot ~~ex~~ pas trop grand $\rightarrow$ on peut réaliser l'interfrange ($=$ la courbe $E = f(\text{temps})$) sans utiliser des mètres de papier,
 $\downarrow$
 chariotage

De manière générale, longueur de cohérence temporelle diminue avec la pression de vapeur du corps considéré.

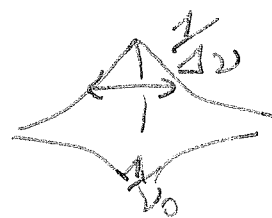
Le moteur entraîne le miroir mobile à

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{1t}{12 \text{ min}} = 0,894 \mu\text{m/s}$$

longueur d'onde centrale

$$\lambda_0 = 2 \nu_0 v_{\text{mot}}$$

$\uparrow$
fréquence centrale
du spectre



largeur de la raie verte:

$$\Delta \lambda = \frac{\Delta \nu \times \lambda_0^2}{2 \nu_{\text{mot}}}$$

$$l_c = \frac{\lambda_0^2}{\Delta \lambda} = \frac{1}{\Delta \nu}$$

MP2 III) Application

④

Métrologie = mesure de variation d'indice ou de forme en plaçant un objet transparent ds un des bras de l'interféromètre de Michelson on change δ .

test de la qualité optique d'un objet réf. ou d'une lentille.

CC = Rétention les 2 types de dispositifs interférentiels et les conditions d'obtention

- division du front d'onde
- division d'amplitude
- cohérence spatiale
- cohérence temporelle

} dans le modèle scalaire

Si lumière polarisée $\rightarrow$ conditions de polarisation $\rightarrow$ non polarisation
(exp de Fresnel Arago)

Enfin le phénomène d'interférence survient dès que des ondes se superposent. Il peut s'agir de ondes lumineuses mais aussi d'ondes em de d'autres gammes de fréquences ou encore d'ondes méca (son, vagues à la surface d'une liq)

ex: les interférences destructives des ondes sonores et à la base des casques antibruit actifs qui analysent le son provenant aux oreilles et leur superposent une onde id. mais de phase opp, ce qui $\rightarrow$ l'intensité sonore perçue.

Bibliographie

- Sextant optique expérimentale
- Duffair
- Gulliver PC PC* TeletDoc
- Taillet Optique Physique De Boeck
- Béal Optique Brenders NPAC PSI PT