

INTERROGATION n°2

1H

(sans document, calculatrice de base autorisée)

Questions de cours.

Soit L la longueur du train d'onde émis par une source ponctuelle, quasi-monochromatique. Soit δ la différence de marche introduite entre deux faisceaux d'égales intensités issus d'un dispositif interférométrique que l'on ne précise pas.

1. Rappeler les conditions pour lesquelles on observera l'interférence entre ces 2 faisceaux.

Dans le cas du dispositif à fente d'Young, on a $\delta = a.x/D$ où a est la distance entre les 2 sources, x l'abscisse du point d'observation et D la distance entre les sources et le plan d'observation.

2. Indiquer si la figure d'interférence est constituée de franges ou d'anneaux et justifier votre réponse
3. Donner la largeur de la zone d'interférence visible en utilisant la source primaire décrite en Q.1 (notamment pour ce qui concerne les conditions d'émission des ondes).

Exercice 1

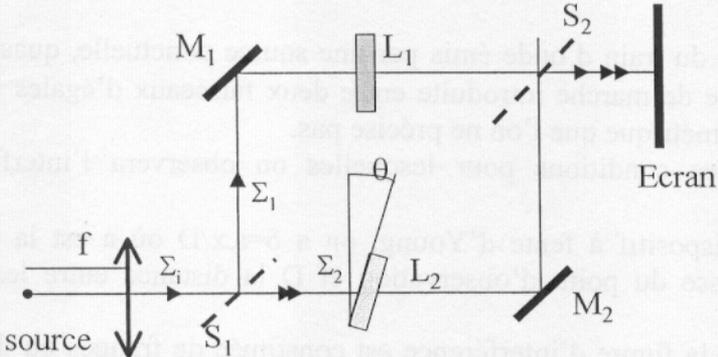
On considère une source lumineuse S suffisamment petite pour être assimilée à une source ponctuelle.

- a) Les atomes émetteurs sont tels que la durée de vie moyenne des radiations lumineuses émises est $\tau = 3.3 \cdot 10^{-12}$ s. Calculez la longueur L des trains d'onde dans le vide et l'étalement spectral $\Delta\nu$ de cette source ; que peut-on dire de sa « monochromaticité » ?
- b) A l'aide d'un dispositif adéquat, on obtient deux sources images de cette source S . Citez deux montages simples permettant d'obtenir un tel résultat. La distance d entre les sources images vaut $d = 10$ mm et les phénomènes sont observés sur un écran situé à une distance D du plan des sources ($D = 1$ m). L'ensemble est placé dans l'air d'indice pris égal à 1. Sur l'écran, on observe des franges bien visibles au centre, mais leur visibilité diminue progressivement quand on s'écarte sans que l'on puisse attribuer ce résultat à une diminution de l'intensité lumineuse. A une distance X du centre de l'écran, elles ont complètement disparu. Expliquer la raison de ce constat et dire à quel type de phénomène on a affaire. Déterminer la distance X (expression littérale et valeur numérique).
- c) En réalité, la source S n'est pas parfaitement ponctuelle. Dire succinctement en quoi la taille latérale non nulle de la source peut modifier l'état des phénomènes observés sur l'écran.
- d) On revient à une source ponctuelle émettant maintenant de la lumière blanche ($0.4 \mu\text{m} < \lambda < 0.8 \mu\text{m}$) et l'on modifie la distance d ($d = 0.4$ mm) en gardant $D = 1$ m. On constate une frange centrale blanche. Pourquoi ? Faire une description des phénomènes observés sur l'écran lorsque l'on s'écarte progressivement de son centre. Qu'observe-t-on à 6 mm du centre de l'écran ?

Exercice 2 : interféromètre de Mach-Zehnder. Analyse avec lame mince en rotation

On considère le dispositif ci-dessous constitué de

- 2 miroirs M_1 et M_2 parfaitement réfléchissants
- 2 lames séparatrices S_1 et S_2 identiques et semi-réfléchissantes disposées à 45° de la trajectoire des faisceaux.
- Une source ponctuelle est placée au foyer d'une lentille convergente. Le front d'onde obtenu est Σ_i qui est séparé en Σ_1 et Σ_2 .



La source est supposée monochromatique de longueur d'onde $\lambda=0.6\mu\text{m}$, d'intensité I_0 (correspondant à une amplitude A_0).

Le long des trajectoires 1 et 2, on place deux lames L_1 et L_2 de même épaisseur $e=1\text{ mm}$ et d'indice de réfraction $n=1.5$. La lame L_1 est perpendiculaire au rayon 1 tandis que la lame L_2 est tournée d'un angle θ (avec $\theta \ll 1$).

Analyse qualitative

1. Quelle est la nature de l'onde Σ_i issue de la ~~lame~~ ^{lentille} convergente ?
2. La séparatrice S_1 produit les fronts d'onde Σ_1 et Σ_2 . L'intensité de l'onde incidente étant I_0 , quelle est celle des rayons Σ_1 et Σ_2 ?
3. En l'absence des lames L_1 et L_2 , quelle est la nature de l'interférence observée sur l'écran ? Indiquer la valeur de l'amplitude reçue ainsi que l'intensité ?
4. On place les deux lames L_1 et L_2 , avec $\theta=0$. En quoi la figure d'interférence observée à l'écran est-elle modifiée.

Dispositif de Mach-Zehnder pour $\theta \neq 0$.

1. Dans le cas où l'on tourne L_2 d'un angle θ , indiquer l'influence de cette rotation sur le phénomène d'interférence.
2. Exprimer la différence de marche entre les faisceaux 1 et 2 qui se recombinent à l'écran. On montrera que l'on aboutit à une expression de la forme :

$\Delta = e \cdot \theta^2 f(n)$, où $f(n)$ dépend de l'indice de réfraction des lames, et que l'on explicitera.
N.B. le chemin optique supplémentaire introduit par une lame à face parallèle, d'épaisseur e , sur laquelle arrive un faisceau avec l'incidence i est : $\delta = n \cdot e \cdot \cos r - n_0 \cdot e \cdot \cos i$, $n =$ indice de la lame, n_0 indice du milieu. Vous donnerez le schéma précis correspondant à cette relation.

3. Pour quelle condition θ_0 a-t-on un éclaircissement nul sur l'écran ? donner la valeur de θ_0 correspondante.
4. Dans quelles conditions observe-t-on un éclaircissement maximum sur l'écran ? Donner les angles correspondants.
5. Vous aurez reconnu un dispositif d'interférence à 2 ondes. Avec l'expression de la différence de marche Δ en Q.2, rappelez l'expression de l'intensité $I(\theta)/I_{\text{max}}$ représentant l'éclaircissement en fonction de θ , et tracer son évolution pour $0 \leq \theta \leq 10^\circ$

Barème

Questions de cours.

- $\delta \leq L$ pour avoir interférence entre faisceaux issus du même train d'onde. $\frac{1}{2}$
et donc la condition de déphasage constant dans le temps est vérifiée $\frac{1}{2}$
- dispositif d'Young \rightarrow axe sources secondaires S1-S2 parallèle au plan d'observation
 \rightarrow franges d'interférence $\frac{1}{2}$
- pour le dispositif d'Young $d = ax/D = L \Leftrightarrow x_{\max} = D.L/a \Rightarrow$ largeur $= 2x_{\max} \frac{1}{2}$

Exercice 1

Question	Réponses succinctes	Points /20
A	$L = c\tau = 1\text{mm}$ $\Delta\nu = 1/\tau = 3 \cdot 10^{11}\text{Hz}$ cette source n'est pas parfaitement monochromatique	0.5 0.5 0.5
B	Bilentilles de Billet, biprisme de Fresnel, trous ou fentes d'Young La disparition progressive des franges s'explique par une cohérence temporelle imparfaite ; dès que la différence de marche atteint la longueur L des trains d'onde, les franges disparaissent totalement. $X = LD/d = 10\text{cm}$ obtenu en posant $\delta = L = dX/D$	1 1 1.5
C	Problème de cohérence spatiale qui affecte toute la figure avec le risque d'un brouillage général de la figure d'interférences aussi bien au centre que sur les bords.	1
D	Au centre frange blanche car la différence de marche est nulle pour toutes les longueur d'onde et donc les ondes arrivent en phase (interférences constructives pour tout λ). Autour de la frange centrale, on observe deux franges noires (interférences destructives pour tout λ). Puis irisation , puis blanc d'ordre supérieur (spectre cannelé). A 6 mm du centre, on a une différence de marche de $2.4 \mu\text{m}$ soit 6 fois la longueur d'onde moyenne : on est en plein dans le blanc d'ordre supérieur car il n'y a plus cohérence temporelle.	1 0.5 0.5+0.5 0.5
Total : 9pts		

Barème/ Exercice 2

Analyse qualitative

1. Onde plane	0.5
2. 1e interprétation leur amplitude = $A_0/2$, donc leur intensité = $I_0/4$ (absorption de la moitié de l'énergie entrant dans une lame)	0.5
2e interprétation pas d'absorption, intensité $I_0/2$ donc amplitude A_0 sur racine de 2	
3. même chemin optique \rightarrow interférence constructive	0.5
1e interprétation amplitude = $A_0/2$, intensité = $I_0/4$	0.5
2e interprétation amplitude A_0 , intensité I_0	0.5
Rq 1 : dispositif d'interférences sans franges ! L'écran est uniformément éclairé (interférences constructives sur l'écran et destructives dans la direction verticale, pas éclairée du tout)	
Rq 2 : c'est la position du tain des lames semi-réfléchissantes (côté haut ou côté bas du dessin) qui détermine si l'interférence est constructive ou destructive sur l'écran (grosse subtilité : les réflexions sur le tain changent le signe de E si le rayon incident provient de l'air et ne le changent pas si le rayon incident traverse d'abord la vitre)	
4. en rien car le chemin optique n'est pas modifié	0.5

Dispositif de Mach-Zehnder

1. le chemin optique de 2 est modifié \rightarrow différence de marche non nulle	0.5
2. pour $\theta = 0$, $\delta = (n-1)e$	
pour $\theta \neq 0$, $\delta = n.e.\cos r - e \cos \theta$, car ici $i = \theta$	0.25
la différence de marche entre les deux faisceaux est donc	
$\Delta = n.e.\cos r - e.\cos \theta - (n-1)e$ (eq. A)	0.5
snell descartes $1.\sin \theta = n.\sin r \Leftrightarrow \theta = n.r$ (eq. B)	
développement au 1 ^{er} ordre de (eq. A)	0.25
$\Delta = n.e.(1 - r^2/2) - e(1 - \theta^2/2) - (n-1)e = e.(\theta^2/2 - n.r^2/2)$	0.5
$- e.\theta^2 \cdot ((n-1)/2n)$	0.5
avec $f(n) = (n-1)/2n$	
3. pour $\Delta = \lambda/2$	
$\Leftrightarrow e.\theta^2 \cdot ((n-1)/2n) = \lambda/2 \Leftrightarrow \theta_0 = \{ \lambda.n/(n-1)/e \}^{1/2}$	0.5
A.N. $\theta_0 = 0.0424 \text{ rad} \approx 2,43^\circ$	0.5
4. pour $\lambda = p.\lambda$, p entier	0.5
$\Leftrightarrow \theta_p = \{ p.\lambda.2n/(n-1)/e \}^{1/2}$	
$\theta_1 = 3,43^\circ$	0.5
5. $I(q)/I_{\max} = \cos^2(p.D/l)$, on observe des max. et des min. de plus en plus resserrés jusqu'à $q = 10^\circ = 0.175 \text{ rad}$.	0.5
Tracé	i