SP 2 DEVOIR SURVEILLE N°1 DU 12/10/2016 Durée : 2h

Exercice 1 : On considère un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air d'épaisseur e.

1) Faire un grand schéma représentant la lame d'air avec un des miroirs et l'image de l'autre miroir par la séparatrice. On fera figurer l'épaisseur e. On tracera un rayon d'incidence i sur la lame d'air, ainsi que les deux rayons réfléchis qui interfèrent. On représentera l'angle i.
2) Que peut-on dire des directions des deux rayons qui interfèrent ? Où sont localisées les franges d'interférence ? Quelle est leur forme ? Où faut-il placer un écran si on veut projeter les franges à l'aide d'une lentille ?
3) Faites figurer sur le schéma la différence de marche δ entre les deux rayons qui interfèrent.
4) Quelle est la valeur de cette différence de marche ? On ne demande pas de démonstration.
5) En déduire la différence de phase φ entre les deux ondes qui interfèrent.
6) Les deux ondes qui interfèrent ont même amplitude réelle a_0 et une différence de phase φ. Quelle est l'amplitude de l'onde résultante ?
7) En déduire l'intensité de l'onde résultante.
8) Pour λ = 589,3 nm et e = 7,24 mm, quel est l'ordre d'interférence au centre ? Le centre est-il clair ou sombre ?
9) L'ordre d'interférence du premier anneau lumineux sera-t-il plus grand ou plus petit que celui du centre ? Justifier. Donner sa valeur.
10) De son ordre d'interférence, on peut déduire la valeur de i pour le premier anneau lumineux : i = 6,54 mrad. On projette les anneaux avec une lentille de distance focale f' = 500 mm. A l'aide d'un schéma sur lequel figureront les deux rayons qui interfèrent, la lentille et l'écran, ainsi qu'à l'aide d'une construction d'optique géométrique sur ce schéma, montrer que le rayon du premier anneau lumineux est R = f'.tan(i) $\approx$ f'i.
11) Calculer R.

Exercice 2 : On réalise un interféromètre de Mach-Zehnder, éclairé par un laser de longueur d'onde λ = 632,8 nm, et on observe des franges d'interférence.

1) Rappeler à l'aide d'un schéma annoté comment est constitué cet interféromètre.
2) On place sur un des bras une lame de verre d'indice n = 1,67 et d'épaisseur e = 0,15 mm. Quelle est la différence de marche supplémentaire introduite par cette lame sur le bras considéré ?
3) Quel est le nombre N de franges qui défilent lorsqu'on place la lame ?
4) On enlève la lame de verre et les franges reviennent à leur position initiale. On place alors une deuxième lame sur un des bras de l'interféromètre, de même épaisseur e = 0,15 mm, mais d'indice n' inconnu. On compte N' = 123 franges qui défilent. En déduire la valeur de n'.

Exercice 3 : On souhaite séparer les modes longitudinaux d'un laser He-Ne rouge à l'aide d'un interféromètre de Fabry-Pérot. Dans un premier temps, on déterminera l'écart en longueur d'onde entre deux modes successifs, puis on cherchera quelle épaisseur il faut donner à l'interféromètre de Fabry-Pérot pour résoudre cet écart.

Partie A : La cavité du laser

La cavité du laser est constituée de deux miroirs plans. Elle contient un mélange de gaz d'indice n=1,00. Sa longueur est L=0,20 m.

1) Déterminer les longueurs d'onde et les fréquences permises dans la cavité.
2) En déduire l'expression littérale de l'intervalle spectral libre $\Delta\nu$, puis sa valeur numérique.
3) Le laser possède trois modes. En déduire sa largeur totale en fréquence.
4) Quelle est sa longueur de cohérence temporelle ?
5) L'écart en longueur d'onde entre deux modes consécutifs est donné par :

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{c}\Delta\nu$$

où λ=633 nm est la longueur d'onde du laser. Déterminer la valeur numérique de $\Delta\lambda$.

Partie B : Epaisseur de l'interféromètre de Fabry-Pérot

L'interféromètre de Fabry-Pérot est constitué de deux miroirs délimitant une lame d'air d'épaisseur e. Il est éclairé en incidence quasi-normale par le laser de la partie A.

1) Quelle est l'expression de la différence de marche entre deux rayons transmis consécutifs ?
2) En déduire la différence de phase ϕ entre deux rayons transmis consécutifs.
3) L'intensité totale transmise est

$$I = \frac{I_0}{1 + M \sin^2(\frac{\phi}{2})}$$

où I_0 est l'intensité du laser incident et M est un nombre sans unité dépendant du facteur de réflexion des miroirs.

Représenter l'allure de I lorsque ϕ varie de 0 à 6π.

4) On note Δϕ=0,209 rad la largeur à mi-hauteur d'un pic de la fonction de la question 3). Quelle est l'expression littérale de la finesse F de l'interféromètre ?
   Quelle est sa valeur numérique ?
5) Le pouvoir de résolution de l'interféromètre est λ/Δλ=kF où k est l'ordre d'interférence et Δλ le plus petit écart en longueur séparable. Pour quelle valeur de k les modes du laser seront-ils résolus ?
6) L'ordre d'interférence au centre étant k=2e/λ, en déduire la valeur de l'épaisseur qu'il faut donner à l'interféromètre pour résoudre les modes du laser.
7) Cette valeur de e permet d'être en limite de résolution. Si on souhaite séparer largement les modes, faut-il une épaisseur plus grande ou plus petite que e ? On justifiera la réponse.

Exercice 4 : On considère un filtre interférentiel constitué d'une lame transparente en cryolithe d'épaisseur e = 0,250 µm et d'indice n = 1,365, entourée de deux miroirs dont le coefficient en réflexion en intensité est R = 0,95. Ce filtre est éclairé en lumière blanche sous incidence normale.

1) Quelle est la différence de marche entre deux ondes consécutives transmises par le filtre ?
2) En déduire les longueurs d'onde passantes du filtre. Préciser celle(s) appartenant au domaine visible.
3) La finesse du filtre est $F = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}$ et la bande passante du filtre autour de la longueur d'onde λ est Δλ = λ/(kF) où k est l'ordre d'interférence. Calculer F, puis la bande passante du filtre autour des longueurs d'onde passantes du domaine visible.