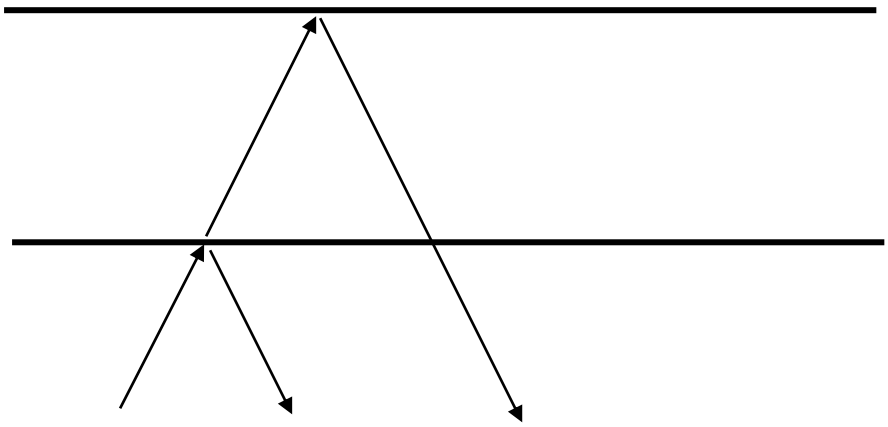
SP 2 DEVOIR SURVEILLE N°1 DU 13/10/2023 Durée : 2h

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

1) On représente sur le schéma ci-dessous la lame d'air, le rayon incident et les deux rayons qui interfèrent.



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 ?

2) Faites figurer sur le schéma la différence de marche δ entre les deux rayons qui interfèrent.
3) L'expression littérale de cette différence de marche est $\delta = 2*e*\cos(i)$.
En déduire l'expression littérale de la différence de phase φ entre les deux ondes qui interfèrent.
4) A quelle condition sur φ les interférences sont-elles constructives ?
5) Pour $\lambda = 543{,}5$ nm et $e = 11{,}0$ µm, quel est l'ordre d'interférence au centre ? Le centre est-il clair ou sombre ?
6) L'ordre d'interférence du premier anneau lumineux sera-t-il plus grand ou plus petit que celui du centre ? Justifier. Donner sa valeur.
7) De son ordre d'interférence, on peut déduire la valeur de i pour le premier anneau lumineux : i = 154 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 $R = f'.\tan(i) \approx f'i$.
8) 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 = 1,61 et d'épaisseur e = 0,11 mm.
Quel est le nombre N de franges qui défilent lorsqu'on place la lame ?
3) La frange centrale *avant* l'introduction de la lame était sombre. La frange centrale *après* l'introduction de la lame est-elle sombre ou claire ? Justifier la réponse.

Exercice 3 : En astronomie amateur, il est possible d'observer le soleil en lumière quasi-monochromatique dans la raie Hα de l'hydrogène (λ_0 = 656,28 nm). Cette raie du spectre solaire révèle plusieurs aspects intéressants du soleil. Pour l'isoler, on utilise des filtres composés de deux éléments bien distincts :

- Le premier est un interféromètre de Fabry-Pérot, qui reçoit directement la lumière solaire. Il fonctionne en incidence normale et fournit de la source lumineuse un spectre cannelé dont chaque pic correspond à un mode longitudinal de la cavité. Un des modes correspond à la raie Hα.
- Le second est constitué d'un filtre interférentiel rouge centré sur la raie Hα dont la bande-passante doit être assez étroite pour isoler au mieux le mode issu de la cavité Fabry-Pérot contenant cette raie. Ce filtre est placé derrière la cavité Fabry-Pérot.

Partie A : La cavité Fabry-Pérot

La cavité est constituée de deux miroirs plans. Elle contient de l'air. Sa longueur est L = 211 µm. Elle est éclairée en incidence normale.

1) Déterminer l'expression littérale des longueurs d'onde et des fréquences permises dans la cavité.
2) En déduire l'expression littérale de l'intervalle spectral libre $\Delta\nu$, puis sa valeur numérique.
3) Vérifier que la longueur d'onde λ_0 de la raie Hα est bien transmise à l'ordre $k_0 = 643$.
4) L'écart en longueur d'onde entre deux modes consécutifs autour de λ_0 est donné par :

$$\Delta\lambda_m = \frac{\lambda_0^2}{c}\Delta\nu$$

Déterminer la valeur numérique de $\Delta\lambda_m$.

Partie B : Filtre interférentiel

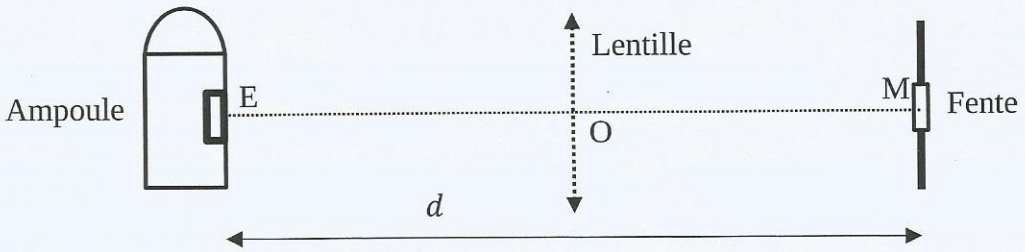
Le filtre est composé d'une lame à faces parallèles d'indice n = 2,712 et d'épaisseur e = 121 nm, entourée de deux couches réfléchissantes de coefficient de réflexion en intensité R = 0,995. Il est éclairé en incidence normale.

1) Quelle(s) longueur(s) d'onde visible(s) est ou sont transmise(s) par le filtre ?
2) 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 $\Delta\lambda = \lambda/(kF)$ où k est l'ordre d'interférence. Calculer F, puis la bande passante du filtre autour des ou de la longueur(s) d'onde passante(s) du domaine visible.
3) Vérifier que la longueur d'onde λ_0 de la raie Hα est bien transmise. On justifiera la réponse.
4) Vérifier que la bande passante du filtre interférentiel est égale à l'écart entre les modes $\Delta\lambda_m$ de la cavité Fabry-Pérot de la partie A.
5) En déduire une justification du fait que le seul mode la cavité Fabry-Pérot qui sera transmis par le filtre interférentiel est celui correspondant à la raie Hα.
6) Si le télescope est mal orienté, l'incidence sur le filtre interférentiel n'est plus normale. Comment s'exprime alors la différence de marche des ondes qui interfèrent dans la lame à faces parallèles en fonction de e, n et l'angle de réfraction r ? Une longueur d'onde transmise par le filtre sera-t-elle plus grande ou plus petite qu'en incidence normale ? On justifiera la réponse.

Exercice 4 : BTS 2023 Partie B

PARTIE B. Mise en forme du faisceau éclairant le réseau

Une lentille convergente, placée entre l'ampoule et la fente source permet de conjuguer la surface émettrice (point E) de la lampe avec la fente source (point M).



Q9 Donner l'intérêt d'un tel dispositif.

Q10 La distance {surface émettrice – fente} vaut $d = 40{,}0\ \mathrm{mm}$ et la distance {lentille – fente}, vaut $d' = 20{,}0\ \mathrm{mm}$. Sur le document réponse **DR2**, la surface émettrice est représentée par l'objet AB. Par une construction graphique réalisée avec une échelle à préciser sur **DR2**, positionner, dans le plan de la fente, l'image A'B' de l'objet AB et déterminer par construction graphique la distance focale image f' de la lentille.

Le diamètre de la lentille vaut $10{,}0\ \mathrm{mm}$ et la fente est positionnée à $100\ \mathrm{mm}$ du réseau (voir document réponse **DR3**). On se place dans le cadre de l'optique géométrique.

Q11 Compléter le document réponse **DR3** en traçant les deux rayons extrêmes traversant la lentille jusqu'au réseau et vérifier par un calcul que le réseau est entièrement éclairé.

L'appareil est correctement réglé si l'image de la fente d'entrée se forme sur les photodiodes (voir le schéma de principe de l'appareil extrait du manuel en annexe 1.)

Q12 Indiquer comment le technicien peut vérifier rapidement cette conjugaison.

Pour l'étude qui suit, on considère le réseau comme un simple miroir sphérique concave de rayon de courbure $R = 100\ \mathrm{mm}$. L'objet est la fente d'entrée de hauteur $h = 5{,}00\ \mathrm{mm}$.
On mesure sur l'appareil la distance entre la fente d'entrée (point M) et le sommet S du miroir : $\overline{MS} = 100\ \mathrm{mm}$.

Q13 Calculer la position et la hauteur de l'image de la fente donnée par le miroir sphérique concave.

QUELQUES RELATIONS UTILES

- Expression de l'éclairement E d'une surface S recevant un flux Φ :

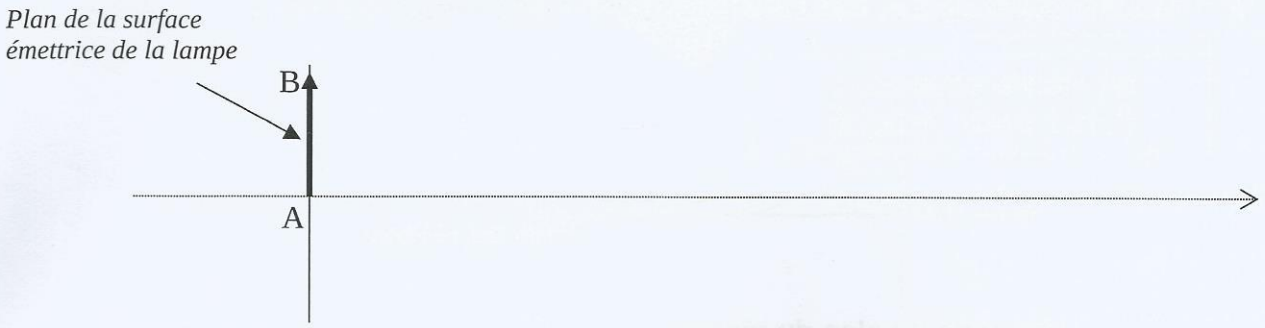
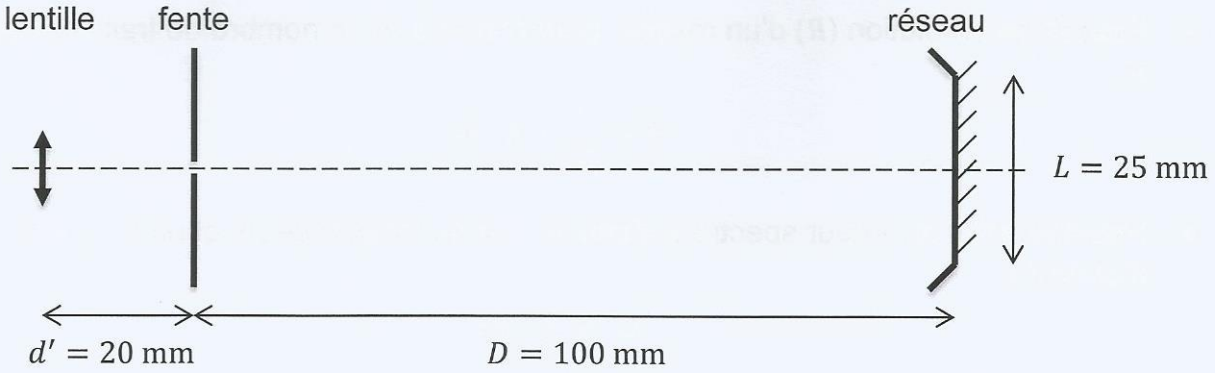
$$E = \frac{\Phi}{S}$$

- Relation de conjugaison et de grandissement d'un miroir sphérique, pour un sens positif orienté de la gauche vers la droite :

Conjugaison : $\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}}$ Grandissement : $\gamma = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$

FEUILLE A RENDRE AVEC LA COPIE

DR2 : position de la lentille (échelle 2)



DR3 : éclairage du réseau (échelle 1)