TD interféromètre de Michelson

I. Nombre d'anneaux sur l'écran

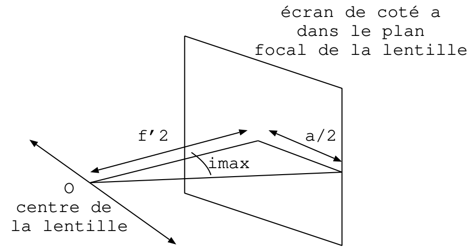
1. En lame d'air on doit fait converger la lumière de la source sur les miroirs avec une lentille de petite focale.

On veut voir de gros anneaux, donc on utilise une lentille de grande focale en sortie du Michelson. Les franges sont localisées à l'infini, on les observe en mettant l'écran dans le plan focal image de la lentille.

2. L'ordre d'interférences est maximal au centre: $p_0 = \dfrac{2e}{\lambda} = 1526,7$.

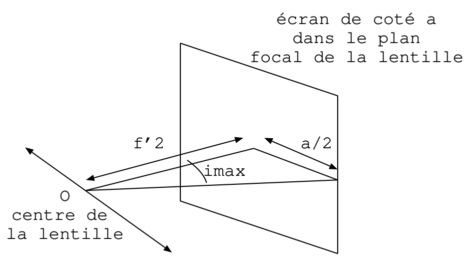
L'ordre d'interférences est minimal au bord de l'écran (lorsque l'angle i est maximal): $p = p_0 \cos i = p_0 \dfrac{f_2'}{\sqrt{(f_2')^2 + (a/2)^2}} = 1519,1$.

On voit donc les anneaux d'ordre 1526, 1525, ..., 1519 soit un total de 7 anneaux brillants.



II. Rayon d'un anneau

1.



2. On calcule l'ordre d'interférence au centre des anneaux soit $p_0 = \dfrac{2e}{\lambda} = 1569,6$ (le centre des anneaux est gris foncé). L'ordre d'interférence diminue quand on s'éloigne du centre des anneaux soit le premier anneau brillant a pour ordre $p_1 = 1569$, ... le 4ième anneau brillant a pour ordre $p_4 = 1566$.

On a $\tan i_4 = \dfrac{r_4}{f'} \approx i_4$ et $p_4 = p_0 \cos i_4 = p_0(1 - \dfrac{i_4^2}{2})$ soit $i_4 \approx \sqrt{2(1 - \dfrac{p_4}{p_0}}$. On a donc $r_4 = f'\sqrt{2(1 - \dfrac{p_4}{p_0}} = 4,7\ cm$.

III. Mesure de l'indice de l'air

1. A l'instant initial, le Michelson est réglé au contact optique, cela signifie que les chemins optiques des rayons réfléchis sur M_1 et sur M_2 sont les mêmes donc $d_1 = d_2$.

2. Quand le miroir M_1 se déplace, la différence de marche est modifiée et pour certains instants l'intensité en O est maximale, O est donc sur une frange brillante et pour d'autres instants l'intensité est minimale, O est sur une frange sombre.

$\delta_{1/2} = 2d_1(t) - 2d_2 = 2vt$ avec $d_1(t) = d_2 + vt$ (à $t = 0$, $d_1 = d_2$, la distance d_1 varie au cours du temps car on chariote le miroir mais la distance d_2 est constante) et $p(t) = \dfrac{\delta}{\lambda} = \dfrac{2vt}{\lambda}$.

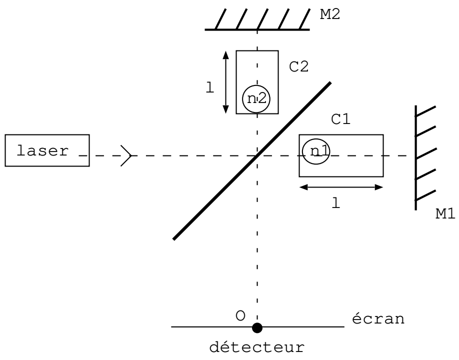
Les franges brillantes correspondent à des ordres d'interférences entiers soit $p(t_k) = \dfrac{2vt_k}{\lambda} = k$ soit $t_k = \dfrac{k\lambda}{2v}$ d'où la période $T = t_{k+1} - t_k = \dfrac{\lambda}{2v}$.

AN: $\lambda = 2vT = 632\ nm$ avec $T = \frac{0,8}{4} = 0,2\ s$.

3. Quand les cuves sont remplies d'air toutes les deux, on est au contact optique donc l'ordre d'interférences en O est $p = 0$.

On vide la cuve C_2 donc $n_2 = 1$ (vide) et $n_1 = n$ indice de l'air. Il y a 46 franges qui défilent en O et O se trouve sur une frange sombre donc le nouvel ordre d'interférences en O est $p' = 46,5$ avec $p' = \delta_{1/2}(O) = \dfrac{2n_1 l - 2n_2 l}{\lambda} = \dfrac{2nl - 2l}{\lambda}$ soit $n - 1 = \dfrac{46,5\lambda}{2l} = 2,9.10^{-4}$.

J'ai utilisé $\delta_1/2(O)$ pour avoir un nombre positif pour p'. On peut aussi utiliser $p' = \delta_{2/1}(O) = -46,5$.



IV. **Exploitation d'une courbe intensité**

1. Lorsque l'intensité est maximale, on se trouve sur une frange brillante.

Lorsque l'intensité est minimale (ici nulle), on se trouve sur une frange sombre.

Le rayon du 2ième anneau brillant est $r_2 = 6,5\ cm$, celui du 4 ième anneau brillant est $r_4 = 9,3\ cm$ et celui du 1er anneau sombre est $r'_1 = 2,3\ cm$.

2. Au centre de l'écran, l'intensité est maximale donc p_0 est un entier. Au centre l'ordre d'interférences est maximale donc on a $p_k = p_0 - k$.

3. On a $p_k = p_0 \cos i_k = p_0(1 - \dfrac{i_k^2}{2}) = p_0 - k$ d'où $\dfrac{p_0 i_k^2}{2} = k$ ou encore $i_k = \sqrt{\dfrac{2k}{p_0}}$.

On a $\tan i_k = \dfrac{r_k}{f'}$ soit $r_k = f' i_k = f'\sqrt{\dfrac{2k}{p_0}}$.

4. On trace la courbe donnant r_k en fonction de $\sqrt{k}$. On doit obtenir une droite d'ordonnée à l'origine nulle et de pente $a = f'\sqrt{\frac{2}{p_0}}$ d'où $p_0 = \dfrac{2f'^2}{a^2}$.

Remarque: on ne trouve pas une valeur entière de p_0 à cause des erreurs de lecture des rayons des anneaux, on ne trouve qu'une valeur approchée.

On trouve ensuite l'épaisseur de la lame d'air en appliquant $p_0 = \dfrac{2e}{\lambda}$ soit $e = \dfrac{p_0 \lambda}{2}$.

5. Quand on augmente l'épaisseur de la lame d'air, les anneaux semblent naître depuis le centre et on voit plus d'anneaux à l'écran.

Quand on diminue l'épaisseur de la lame d'air, les anneaux semblent s'engloutir vers le centre et on voit moins d'anneaux à l'écran.

Sur la seconde courbe, on observe un plus grand nombre d'anneaux, on a donc augmenter l'épaisseur de la lame d'air.

V. **Michelson en coin d'air**

1. Le Michelson est réglé en coin d'air donc les franges sont rectilignes et sont localisées sur les miroirs, on les observe sur l'écran en faisant l'image des miroirs sur l'écran grâce à une lentille. On observe sur l'écran, la même chose que ce que l'on voit sur les miroirs mais $|\gamma|$ fois plus grand.

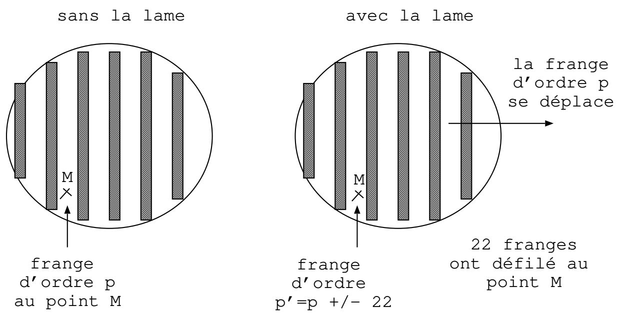
On a $\overline{OA} = -35\ cm$ et $f' = 30\ cm$, on en déduit $\overline{OA'} = \dfrac{f'\overline{OA}}{f' + \overline{OA}} = 210\ cm$.

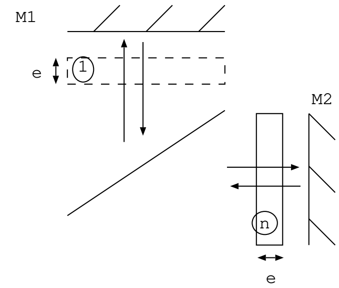
2. Le grandissement du dispositif est $|\gamma| = \dfrac{210}{35} = 6$.

L'interfrange sur le miroir est $i_m = \dfrac{\lambda}{2\alpha}$ avec $\alpha = 0,02\frac{\pi}{180} = 3,5.10^{-3}\ rad$ soit $i_m = 0,9\ mm$ et l'interfrange sur l'écran est $i_e = |\gamma| i_m = 5,4\ mm$.

Sur le miroir et sur l'écran on observe le même nombre d'interfranges $\dfrac{d}{i_m} = 22$.

3.





Soit un point M sur l'écran sur la frange d'ordre p. Quand on met la lame, la frange d'ordre p se déplace. Il y a 22 franges qui défilent en M donc l'ordre d'interférences en M devient $p' = p \pm 22$ soit $|p' - p| = 22$.

Or on sait que $\delta_{avec\ lame}(M) = \delta_{sans\ lame}(M) + \delta_{lame}$ avec $\delta_{lame} = \pm(2ne - 2e)$ (on ne sait pas si on fait chemin 2 moins chemin 1 ou l'inverse mais ce n'est pas grave car on ne sait pas dans quel sens les franges défilent).

On a donc après avoir divisé le chemin optique par λ: $p' = p \pm \dfrac{2ne - 2e}{\lambda}$ soit $|p' - p| = 22 = \dfrac{2ne - 2e}{\lambda}$. On en déduit $e = \dfrac{22\lambda}{2(n-1)} = 92\ \mu m$.

4. On ne veut voir plus qu'une seule frange brillante de largeur $d = \dfrac{i_m}{2}$ (j'ai pris $d = i_m/2$ car un interfrange est la distance entre deux franges donc j'admets qu'une frange brillante ou sombre a pour largeur la moitié d'un interfrange) soit $i_m = 4\ cm = \dfrac{\lambda}{2\alpha}$ donc $\alpha = 1,58.10^{-5}\ rad = 1,58.10^{-5}\frac{180}{\pi}3600 = 3,2''$ d'arc.

VI. **Défaut d'un miroir**

1. Les franges du coin d'air sont localisées sur les miroirs, on les observe en faisant l'image des miroirs sur l'écran avec une lentille convergente.

2. On pose $\overline{AO} = x > 0$, on a donc $\overline{OA'} = D - x$ d'où en remplaçant dans la formule de conjugaison: $\dfrac{1}{D-x} + \dfrac{1}{x} = \dfrac{1}{f'}$. On doit donc résoudre $x^2 - Dx + Df' = 0$. On écrit le discriminent $\Delta = D^2 - 4Df' = 0,48\ m^2 > 0$ et le solutions $x_1 = \dfrac{D}{2} + \dfrac{\sqrt{\Delta}}{2}$ et $x_2 = \dfrac{D}{2} - \dfrac{\sqrt{\Delta}}{2}$. On prend la solution qui correspond à la position la plus proche du miroir pour avoir une image agrandie soit $\overline{AO} = x_2 = \dfrac{D}{2} - \dfrac{\sqrt{\Delta}}{2} = 0,25\ m$ et donc $\overline{OA'} = D - x_2 = 0,95\ m$. On en déduit le grandissement $\gamma = \dfrac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = -3,8$.

Sur la photo on mesure un interfrange : $5i_e = 5,1\ cm$ soit $i_e = 1,0\ cm$.

Or l'interfange sur le miroir est $|\gamma|$ fois plus petit que l'interfrange sur l'écran et l'interfrange sur les miroirs est lié au coin d'air par la relation $i_m = \dfrac{\lambda}{2\alpha}$.

On en déduit $\alpha = \dfrac{\lambda|\gamma|}{2i_e} = 0,12\ mrad$.

3. On note e l'épaisseur du défaut sur le miroir. Ce défaut crée une différence de marche supplémentaire $2e$ entre les rayons réfléchis sur les deux miroirs. A l'écran, on observe un déplacement des franges d'un quart d'interfrange correspondant donc à $\Delta p = \frac{1}{4} = \frac{2e}{\lambda}$ donc $e = \dfrac{\lambda}{8} = 79\ nm$.

Le diamètre d du défaut sur la photo est de $2,43\ cm$, on divise par le grandissement pour avoir le diamètre du défaut sur le miroir soit $\frac{2,43}{3,8} = 0,64\ cm$.

VII. **Vernier**

On lit $13,73\ mm$, $11,16\ mm$ et $8,53\ mm$.