

1 Mesure d'une distance focale : base de tout concours

- Question : Savoir mesurer la distance focale d'une lentille convergente ou divergente ; on demande parfois deux méthodes au choix du candidat.
- Eléments de réponse : Le mieux est de revoir votre TP Focométrie de première année. Sinon voici quelques idées :
 - Pour avoir une idée, s'aider de la lumière du plafonnier qui sert d'objet source et la faire focaliser sur la table. La distance entre la table et la lentille est approximativement la distance focale (car le plafonnier est considéré très loin).
 - Pour une lentille convergente, la méthode de mesure la plus simple, la plus rapide et suffisamment précise est l'autocollimation, souvent utilisée pour régler une lunette à l'infini ou placer une source dans le plan focal objet d'une lentille .
 - La méthode de Silbermann est à connaître aussi, de formule simple $D = 4f'$ où D représente la distance entre l'objet et l'image lorsque le grandissement est égal à -1 . Elle consiste à placer la source (objet) et l'écran (image) à une distance un peu supérieure à $4f'$ (d'où la nécessité d'avoir une estimation rapide de f' par le plafonnier), puis de positionner la lentille entre la source et l'écran pour obtenir la netteté (il doit y avoir alors deux positions possibles pour la lentille), de rapprocher petit-à-petit la source en repositionnant la lentille pour assurer toujours la netteté, jusqu'à obtenir une seule position possible de la lentille (elle est alors en plein milieu entre la source et l'écran et le grandissement est égal à -1 . . Savoir que le calcul théorique donne $D = 4f'$.
 - La méthode de Bessel est à connaître si jamais on la demande ; elle a l'inconvénient d'être plus longue et exige de retrouver une formule (à moins qu'on ne la donne). Elle consiste à placer la source et l'écran à une distance D supérieure à $4f'$, de positionner la lentille entre la source et l'écran pour obtenir la netteté, de mesurer la distance d entre les deux positions possibles de cette lentille; de recommencer pour différentes valeurs de D et de tracer sur papier millimétré D en fonction de $D^2 - d^2$. La formule qui n'est pas à connaître par coeur mais doit pouvoir être redémontrée (partir des formules de conjugaison et éliminer soit p soit p' pour aboutir à une équation du second degré en p (ou p') est $D^2 - d^2 = 4f'D$. Le tracé donne donc accès à $4f'$ par la pente. Rappel important : la distance minimale entre l'objet et l'écran ç-à-d l'image est $4f'$.
 - Pour une lentille divergente, réaliser un doublet (convergente connue collée à une divergente inconnue) et appliquer l'une des méthodes précédentes (il faut pour cela que la convergente l'emporte sur la divergente pour que l'ensemble soit convergent). Rappel : les vergences (inverse de f') s'ajoutent.

2 TP 1 Mesure d'un grandissement : Centrale extraits

- Matériel à disposition : Papier millimétré placé sur un support , viseur avec oculaire gradué, pas besoin de lampe.
- Question : Ajuster l'oculaire à votre vue de façon à voir net le réticule. Pointer le papier millimétré avec le viseur et mesurer le grandissement g de son objectif . Faire un schéma du viseur avec un rayon provenant d'un objet B situé hors de l'axe optique du viseur et tracer l'image B' vue dans le plan R du réticule. En quel point particulier se trouve R ? Déterminer la relation entre g , et les distances d_1 entre objectif-objet et d_2 entre objectif-réticule. La distance d_2 est invariable pour les viseurs (ce qui

fait que d_1 est aussi invariable pour un viseur). Mesurer d_1 et en déduire d_2 . Evaluer et calculer les incertitudes de mesures.

- Réponse : Le viseur est l'ensemble d'un objectif et d'un oculaire. L'oculaire est ajusté à la vue au repos (donc accommodant à l'infini) lorsque le réticule R est au foyer objet de l'oculaire (ce qui donne une image à l'infini). L'image de B à travers l'objectif doit être dans le plan du réticule. On déduit donc B' par construction du rayon issu de B passant par le centre de l'objectif (il n'est pas dévié). L'intersection de ce rayon avec le plan focal objet de l'oculaire donne B' . On a le grandissement de l'objectif $g = d_2/d_1$. L'incertitude conduit à $\Delta d_2/d_2 = \sqrt{(\Delta d_1/d_1)^2 + (\Delta g/g)^2}$.

3 TP 2 CCP avec matériel à disposition en salle de TP

- Diffraction avec un oculaire de Fresnel. Calculer la largeur d'une fente fine réglable en largeur. (Un oculaire de Fresnel est un oculaire comportant une mire micrométrique).
- Eléments de réponse : L'oculaire permet de lire les largeurs de la tache de diffraction. On se place en diffraction de Fraunhofer : il faut donc réaliser un système afocal avec deux lentilles, la source étant une fente placée parallèlement à la fente diffractante. (La fente diffractante est placée entre les deux lentilles). L'oculaire de Fresnel est ensuite placé de sorte à voir nette l'image géométrique de la fente source avec la diffraction causée par la fente diffractante. La largeur de la tache centrale de diffraction est reliée à la largeur a de la fente par $2\lambda f_2/a$ multiplié par le grandissement de l'oculaire.

4 TP 3 CCP

- Proposer et mettre en oeuvre un protocole expérimental afin de déterminer une lampe spectrale inconnue.
- Matériel à disposition : 1 fente, 1 réseau de pas inconnu, 1 miroir, 2 lentilles, 1 lampe au mercure et une autre inconnue, une feuille caractéristique des raies du mercure et d'autres lampes (dont Cadmium), un écran. C'est TOUT.
- Eléments de réponse : Il suffit de réaliser soi-même le montage collimateur lié au goniomètre en plaçant la fente source d'une des lampes à la distance focale d'une première lentille par autocollimation. En aval de la fente on place la seconde lentille formant l'image de la fente sur un écran (lointain pour avoir de la place); comme on a obtenu un faisceau parallèle après la première lentille, il faut placer l'écran dans le plan focal de la deuxième lentille. Puis on place le réseau entre les deux lentilles.

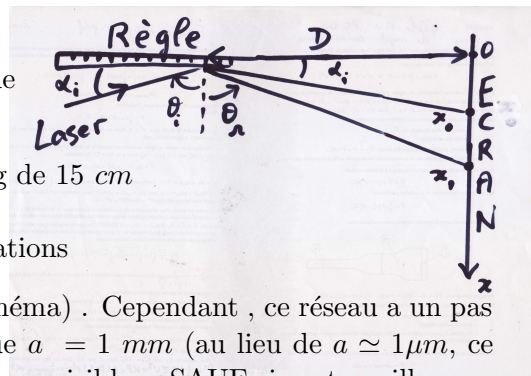
La formule du réseau $\sin \theta - \sin \theta_i = k\lambda/a$ où a est le pas du réseau se simplifie en $\sin \theta = k\lambda/a$ si on impose expérimentalement $\theta_i = 0$; pour cela, on peut faire une autocollimation en plaçant un miroir bien contre le réseau; alors on fait pivoter le plan du réseau de façon à faire revenir la lumière réfléchie exactement sur l'incidente et à ce moment là on est sûr que l'angle d'incidence sur le réseau θ_i est bien nul.

Si de plus on observe des angles de diffraction pas trop grands, on peut assimiler le sinus et la tangente; or la tangente est proportionnelle à la distance x des raies sur l'écran mesurées par rapport à l'image centrale correspondant à l'ordre 0 (image comprenant toutes les longueurs d'onde de la source, soit bleu pâle dans le cas du mercure). Ainsi $\sin \theta \simeq \tan \theta = x/f_2$ et la formule du réseau se simplifie pour les mesures en $x = kf_2\lambda/a$. De la mesure des distances x sur écran pour la lampe connue au mercure (dont les longueurs d'onde des raies sont données), on trace une courbe de référence entre x et λ ;

puis on mesure les x des raies de la lampe inconnue qu'on reporte sur la courbe de référence et on en déduit les valeurs correspondantes de λ .

5 TP 4 CCP 2016

- Proposer et mettre en oeuvre un protocole expérimental afin de déterminer la longueur d'onde d'un laser vert.
- On dispose d'un régle métallique gradué (gravé) en mm, long de 15 cm d'un banc d'optique avec le laser (en l'occurrence vert), un mètre ruban et un support pour écran. Pas d'autres indications
- Il faut se servir du régle comme d'un réseau en réflexion (cf schéma). Cependant, ce réseau a un pas étonnamment grand pour une longueur d'onde optique puisque $a = 1 \text{ mm}$ (au lieu de $a \simeq 1 \mu\text{m}$, ce qui rend les angles de diffraction extrêmement faibles et donc peu visibles, SAUF si on travaille avec un angle d'incidence très fort, çà-d avec un rayon incident quasi-rasant (α_i très faible). Le calcul donne $\delta = a(\sin \theta_i - \sin \theta_r) = p\lambda$ (je prends ici les deux angles positifs); ainsi $\sin \theta_r = \sin \theta_i - p\lambda/a$, soit $D/\sqrt{D^2 + x_p^2} = D/\sqrt{D^2 + x_0^2} - p\lambda/a$, soit



$$x_p^2 - x_0^2 = 2D^2 p\lambda/a$$

Il faut donc repérer sur l'écran les taches de diffraction réparties en x_0 pour l'ordre 0 qui correspond à $\alpha_0 = \alpha_i$, et en x_p pour les ordres p , et tracer la courbe $x_p^2 - x_0^2$ en fonction de p . Cela doit donner une droite de pente $2D^2\lambda/a$. On connaît $a = 1 \text{ mm}$, on mesure D . On déduit λ .

- Rq : quand on essaie ce TP, il faut prendre α_i de l'ordre de quelques degrés seulement.

6 TP 5 : Diffraction CCP 2018 (3h)

- Données sur le réseau : formule du réseau, longueur d'onde de la raie verte de la lampe au mercure
- Réaliser une fente-source
- Réaliser un montage pour une diffraction à l'infini du réseau
- Trouver un protocole pour trouver la longueur d'onde de la tache indigo diffractée par le réseau
- Réaliser le montage, les mesures et les incertitudes.
- Conditions de l'épreuve : pas de temps de préparation particulier, on devait appeler l'examineur à chaque fin d'étape. On disposait d'un ordinateur et on avait droit à notre calculatrice.
- Attitude de l'examineur : bienveillant, essaie de nous aider à poursuivre le TP en donnant des indications pour pouvoir trouver la solution.
- Rép : Pour le montage de diffraction à l'infini (dit de Fraunhofer), il faut placer une fente source au foyer objet d'une lentille par autocollimation, puis faire son image sur un écran placé au foyer image d'une deuxième lentille de focale f'_2 . On peut alors placer le réseau (ou tout objet diffractant) n'importe où (le faisceau étant parallèle à l'axe optique) entre les 2 lentilles. Le protocole consiste à placer le réseau en incidence la plus normale possible (ne pas connaître cet angle n'aura pas d'impact), on projette la figure sur un écran et on déduit l'angle de diffraction par trigonométrie en mesurant les

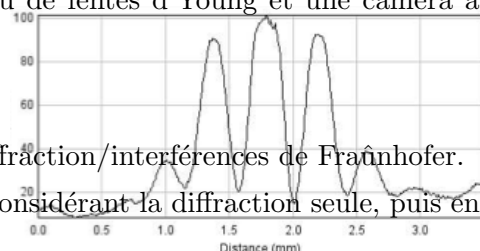
positions des taches verte et indigo par rapport au centre (intersection de l'écran avec l'axe optique), soient d_{indigo} et d_{vert} . Il faut veiller à travailler dans le même ordre. La formule du réseau conduit à $\sin \theta_{\text{vert}} - \sin \theta_{\text{inc}} = p \lambda_{\text{vert}}$ et $\sin \theta_{\text{indigo}} - \sin \theta_{\text{inc}} = p \lambda_{\text{indigo}}$, avec $\sin \theta = d/f'_2$ pour chacune des couleurs. Par différence, on élimine l'inconnue sur l'angle d'incidence : $d_{\text{vert}} - d_{\text{indigo}} = p f'_2 (\lambda_{\text{vert}} - \lambda_{\text{indigo}})$. On déduit l'unique inconnue λ_{indigo} . Pour les incertitudes, on donne d à Δd près et on calcule d'après la formule (à savoir déduire) : $\sqrt{\Delta d_{\text{vert}}^2 + \Delta d_{\text{indigo}}^2} = p f'_2 \Delta \lambda_{\text{vert}}$

7 TP 6 : Interférences CCP 2019 (3h)

- Matériel : banc d'optique, 2 lentilles de focale inconnues, un laser rouge de longueur d'onde 650 nm et un laser bleu de longueur d'onde inconnue, un écran, un jeu de fentes d'Young et une camera à capteur CCD, pas de fentes simples.

- Questions théoriques :

- Proposer un montage pour observer les phénomènes de diffraction/interférences de Fraunhofer.
- Donner l'allure des profils d'intensité en fonction de θ en considérant la diffraction seule, puis en considérant les interférences seules.



- Questions pratiques : on utilise le laser rouge connu ; le laser donnant directement un faisceau parallèle, il n'est pas besoin de le mettre au foyer d'une lentille. Indiquer l'évolution du profil d'intensité en fonction de la distance D entre l'écran et la fente d'Young ; en choisissant une distance D assez grande, déduire la distance a entre les deux fentes, ainsi que la largeur b de chaque fente. Incertitudes sachant que la précision du banc d'optique est de 5 mm et celle de la caméra de 0,002 mm. Pour cela, on remplace l'écran par la camera de manière à projeter la figure d'interférence dans les capteurs de la camera, puis on récupère le profil d'intensité sur un axe spatial (en mm) grâce à un logiciel fourni. Le but étant de voir comment évolue ce profil quand on éloigne la caméra sur l'axe optique, c'est à dire lorsqu'on passe du régime de Fresnel à Fraunhofer (régimes expliqués dans le dossier donné). En fait les interfranges (distance i) deviennent plus grandes et la tache principale (largeur totale d) aussi. Avec un pointeur sur le logiciel, on peut mesurer précisément i et d, et comme $i = \lambda D/a$ où a représente la distance entre fentes et que $d = 2\lambda D/b$ où b représente la largeur d'une fente, on peut ainsi déterminer les dimensions des fentes (leur largeur et la distance entre elles) pour plusieurs jeux de fentes d'Young. Ensuite, on prend le laser bleu inconnu, et on en déduit son λ en ayant pris une distance D fixée assez grande pour être en régime de Fraunhofer
- Cf fig ci-dessus ; j'ai mesuré grâce au logiciel la largeur de plusieurs interfranges que j'ai divisé par le nombre d'interfranges pour avoir une meilleure précision sur l'interfrange i et donc sur a)
- Exo de simulation à faire avec l'examinatrice mais je n'ai pas eu le temps de le faire...
- La présence des 2 lentilles m'a perturbé, il n'en fallait qu'une seule; j'ai eu de la difficulté à faire tenir de façon stable les éléments sur le banc d'optique; il y avait un réglage sur la caméra qui permettait d'obstruer plus ou moins le signal reçu pour avoir des pics plus ou moins hauts
- Toute la complexité de la manipulation était d'être assez précis dans le positionnement de la caméra, des lasers et des fentes pour réussir à capter un signal acceptable sur le logiciel, ainsi que de trouver les bonnes incertitudes.