MP 07 – Instruments d'optique

31 mai 2021

Clément Gidel & Pascal Wang

Niveau :

Commentaires du jury

- 2015, 2016, 2017 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. L'étude des limitations et de défauts des instruments présentés est attendue. Les candidats doivent comprendre quelles sont les conditions pour que la mesure du grossissement puisse se ramener à la mesure d'un grandissement lorsqu'ils présentent des dispositifs afocaux. Enfin, dans certains cas, les candidats peuvent envisager l'utilisation de lunette de visée afin d'améliorer leurs mesures [2017 : de distance].
- 2013, 2014 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. L'étude des limitations et de défauts des instruments présentés est attendue. De bons exposés ont été observés sur ce sujet.
  Jusqu'en 2013, le titre était : Instrument(s) d'optique.
- 2012 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. Il ne faut pas appliquer sans discernement un protocole trouvé dans un livre. Les conditions de stigmatisme (approché ou rigoureux), les conditions de Gauss, les aberrations géométriques et les aberrations chromatiques ... doivent être connues. Les manipulations proposées doivent illustrer réellement le fonctionnement de l'instrument choisi.
- 2011, 2010 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. Il n'est pas suffisant d'appliquer aveuglément un protocole trouvé dans un livre.
  Jusqu'en 2010, le titre était : Instruments d'optique.
- 2009 : Les candidats doivent connaître et comprendre les conditions d'obtention d'images de bonne qualité. Il n'est pas suffisant d'appliquer aveuglément un protocole trouvé dans un livre
- 1997 : Il est intéressant d'illustrer l'effet du verre de champ d'un instrument d'optique en expliquant son intérêt. On peut aussi souligner comment les qualités du récepteur jouent sur la résolution spatiale d'un instrument objectif.

Bibliographie

- ✍ *Optique*, **Houard** ⟶ Théorie et critère de Rayleigh
- ✍ *Physique expérimentale*, **FLTCD** ⟶ Manips
- ✍ *Optique expérimentale*, **Sextant** ⟶ Manips
- ✍ *Expériences de physique au CAPES*, **Duffait** ⟶ Manips

Table des matières

1 L'objectif de l'appareil photographique à focale fixe **4**
1.1 Influence de l'ouverture sur la luminosité . . . 4
1.2 Influence de l'ouverture sur la profondeur de champ . . . 5

2 Limite de résolution en diffraction **6**

3 La lunette astronomique de Kepler (1609) **7**
3.1 Principe . . . 7
3.2 Mesure du grossissement . . . 8
3.3 Diaphragme de champ, diaphragme d'ouverture . . . 8
3.4 Verre de champ . . . 9

4 Le microscope **10**
4.1 Principe 10
4.2 Grossissement commercial 10
4.3 Taille du cercle oculaire 11
4.4 Limite de résolution en diffraction 11

Plan : Clément

Je pense faire le plan de Pascal en remplaçant l'appareil photo par méthode de Bessel. C'est à mon avis plus malin de faire une droite ici comme Lucas Gey.

Pour la lunette, penser à bien fixer objectif / oculaire une fois la lunette réalisée tout comme l'oeil qu'on fixe même avant d'avoir mis la lunette. On peut utiliser une grille de pas connu. Pour le grandissement, il faut mesurer avant/ sans lunette à travers l'oculaire.

On peut faire une mesure unique avec incertitudes de type B avec le pas de la grille pour le grossissement et faire plusieurs mesures avec le diamètre du diaphragme d'ouverture et le cercle oculaire (situé après l'oculaire, attention, on peut le confondre avec les images des filaments). Avec la mesure des diamètres d'oculaire (via une pupille réglable) on fait incertitude de type A pour comparer la mesure avec l'autre méthode (celle du pas de la grille).

Le verre de champ sert à rendre net les bords d'image en faisant converger les rayons sur l'oculaire, on diaphragme (de champ) moins donc les bords sont plus nets et lumineux. De plus, il décalle la position du cercle oculaire.

Microscope : L'idée est de mesurer Δ en fonction de la puissance, mesurée comme $P = A'B'/(f_2 \times AB)$ avec f_2 focale occulaire de l'oeil, $A'B'$ taille de l'objet sur l'oeil artificiel et AB taille de l'objet initial. Ca marche bien !

On peut faire qualitativement la limite de résolution avec une bifentes et une fente ! Eventuellement si on dit qu'on connait la largeur de la fente on peut avoir un chiffre (et on dit qu'on fait ça au laser en diffraction, j'ai trouvé une résolution de l'ordre de quelques micromètre).

Préparation

Préparation :
Plan :
Manip :
Passage :
Questions : aberrations (nom, mise en évidence), obtention d'images, focométrie (cf. Jolidon), savoir d'où viennent les relations, défauts de l'oeil (myopie, hypermétropie, presbytie), fonctionnement QI, filtre AC
Biblio :

Prérequis

Placement

Biblio

Introduction

Définition : instrument d'optique Les instruments d'optique sont des associations de systèmes optiques qui ont pour but de former et d'utiliser une image.
On en distingue deux classes :

- Les instrument d'optique objectifs qui forment l'image sur un écran de projection, une pellicule ou un capteur CCD. On peut citer l'objectif photographique ou le rétroprojecteur, les projecteurs de diapositives, épiscopes
- Les instrument d'optique visuels qui forment l'image sur la rétine de l'œil de l'observateur. On peut citer les jumelles ou les lunettes astronomiques, téléscopes, microscopes, périscopes etc. Ceux-ci permettent de dépasser les limites de sensibilité et de résolution de l'œil.

Pour ces deux familles, on caractérise un instrument par son changement d'échelle, sa résolution, sa clarté et son champ. On va donc, dans ce montage, illustrer expérimentalement ces différentes caractéristiques et certaines limitations au travers d'une lunette astronomique et d'un objectif photographique.

Bonus : caractéristiques d'un instrument d'optique ✍ Duffait agreg.

1. grandissement pour des images à distances finies (lentille), grossissement si afocal (lunette), puissance si mixte (microscope)

2. champ : en profondeur et en transverse
3. clarté. Pour un objet ponctuel, c'est le rapport des flux (en cd ou J) entrant dans l'oeil avec et sans lunette. Moyennant le taux de transmission, c'est le rapport des surfaces de l'objectif et de la pupille de l'oeil (si le cercle oculaire est plus petit que la pupille). Pour un objet étendu, c'est le rapport des éclairements (en lux ou cd/m^2, qui font intervenir la surface.
4. pouvoir de résolution

> Prendre des achromats. Avant de tout monter, tout aligner verticalement. L'important est de faire des belles images. Se référer au Jolidon. Ce serait bien de monter la lunette en live.

1 L'objectif de l'appareil photographique à focale fixe

✍ Houard pour la culture, la description d'un objectif commercial.

Appareil photo Un appareil photo est constitué :

- un objectif qui forme les images. Il est constitué, en général, de plusieurs lentilles. C'est l'analogue du cristallin de l'œil **ODG:** $f' = 50mm$ pour les objectifs standard. ;
- un diaphragme qui règle la quantité de lumière. Il est placé à l'intérieur de l'objectif. C'est l'analogue de la pupille
- un obturateur qui règle la durée de la pose. C'est l'analogue de la paupière
- une plaque sensible où s'enregistre l'éclairement de l'image. C'est l'analogue de la rétine.

Un appareil comprend, de plus, des dispositifs de contrôle de la qualité de l'image (viseur, posemètre).

Nombre d'ouverture Le diaphragme d'ouverture est caractérisé par le nombre d'ouverture

$$n = \frac{f'}{d_{eff}}$$

où d_{eff} est le diamètre effectif du diaphragme, c'est-à-dire le diamètre du diaphragme équivalent placé dans le plan principal image. *Le plan principal image est le plan d'intersection des rayons parallèles incidents sur le système et des rayons convergant sur le foyer image. Pour une lentille, le plan principal imag est confondu avec le plan de le lentille.* Pour n est grand, plus le diaphragme est fermé. *Les valeurs de n standardisées suivent une progression géométrique de raison $\sqrt{2}$.*

Bonus : téléobjectif Pour photographier en gros plan sur des sujets éloignés, on utilise un objectif de grande distance focale car à distance fixée, le grandissement est proportionnel à la distance focale. Pour réduire l'encombrement, on associe une lentille convergente et une lentille divergente non accolée : c'est la structure d'un téléobjectif.

1.1 Influence de l'ouverture sur la luminosité

✍ Sextant p34

> Pour les expériences, on peut prendre un vrai objectif avec plusieurs nombres d'ouverture réglables ou utiliser une lentille+diaphragme.

Eclairement en fonction de l'ouverture On s'attend à ce que l'éclairement (en lux) soit proportionnel à d_{eff}^2. On veut vérifier la dépendance

$$I \propto \frac{1}{n^2}$$

En réalité, il y a un facteur sinus de demi-angle sous lequel est vue la pupille de sortie depuis le centre de l'image

Influence de l'ouverture sur la luminosité

Eclairage On met un dépoli/calque devant la QI+AC pour diffuser. Ainsi, la lumière de chaque point atteint le diaphragme qui joue son rôle.

Mesure de l'éclairement Pour mesurer l'éclairement, on utilise une diode polarisée en inverse et on forme l'image du calque sur la photodiode (important que l'image soit formée pile sur la photodiode !). *On pourrait aussi utiliser un luxmètre.* Cette photodiode relie la masse à la branche - d'un A.O. Elle est passante de l'A.O. vers la

masse. La branche + de l'A.O. est elle directement reliée à la masse. Une résistance R de l'ordre de 1 $M\Omega$ constitue la rétroaction négative. Ainsi, la tension aux bornes de la photodiode est toujours nulle, ce qui implique qu'elle est traversée par un courant négatif $-i$ relativement faible, mais dont la valeur absolue i croît avec le flux lumineux reçu. Ce même courant traverse la résistance R et on a donc une tension positive $U = V_- - V_s = Ri$ proportionnelle au flux lumineux reçu, donc à la grandeur recherchée I. On mesure le courant traversant la photodiode, pour différents nombres d'ouverture/diamètres de diaphragmes. Pour diminuer au maximum le bruit sur cette mesure, on peut envelopper le faisceau lumineux sortant de l'objectif d'un tube noir, jusqu'à la photodiode

Exploitation Pour s'affranchir de la lumière parasite, on fait une mesure avec un bouchon sur l'objectif et on retranche le courant mesuré au reste des mesures. En supoosant le capteur linéaire, on vérifie $I \cdot n^2 = cte$. Sinon, on trace la droite est on dit que l'ordonnée à l'origine est la lumière parasite de la salle.

Incertitudes La mesure avec le photodétecteur est normalement précise. Une grosse incertitude provient de la mesure de d, parce que non seulement c'est pas facile à mesurer, mais il y a aussi le problème de diamètre efficace vs diamètre réel.

Bonus Il faut avoir vérifié que notre capteur est linéaire, en ayant vérifié la loi de Malus par exemple.

Conséquence en photographie Quand on change de nombre d'ouverture, il est multiplié par $\sqrt{2}$, la luminosité est diminué d'un facteur 2. Pour la rétablir, il faut multiplier le temps de pose par 2.

Diminuer l'intensité peut être utile si on veut photographier une image en plein soleil ou à la montagne, mais ce diaphragme a une autre utilité toute aussi importante : il influe sur la profondeur de champ

1.2 Influence de l'ouverture sur la profondeur de champ

✍ Sextant p36

Profondeur de champ La profondeur de champ est la distance qui sépare deux points extrêmes de l'axe optique tel que les images sont vus avec netteté suffisante. **ODG:** le critère en photographie est que l'image sur la pellicule est de diamètre 30μm, qui est l'ordre de grandeur du pouvoir résolvant des pellicules photographiques courantes et celle de l'oeil qui observe la photographie agrandie quelques fois à son *punctum proximum*.

Lien profondeur de champ et ouverture

✍ Sextant p36

Dispositif On fait le montage du Sextant : on remplace le trou par un grille, par exemple 2 traits/mm, la photodiode par écran. On précise qu'on a retourné l'objectif (si on en utilise un).

Observation Si on incline fortement la grille, on constate que c'est flou en périphérie. En fermant le diaphragme, on constate que l'on retrouve de la netteté sur une plus grande plage. *On peut le voir aussi avec un capteur CCD.* On vérifie ainsi que le nombre de traits vus sur l'écran est une fonction croissante du nombre d'ouverture. Ainsi, la profondeur de champ croît avec le nombre d'ouverture.

Bonus : version quantitative On teste et si cela ne marche pas on fait la version qualitative seulement On peut en fait démontrer, en appliquant les relations de conjugaison aux points objets B et C et à leurs images, la relation donnant la profondeur de champ en fonction de N :

$$\Delta = \frac{2p}{\frac{fp'}{N\varepsilon p} - \frac{N\varepsilon p}{fp'}} \tag{1}$$

On voit donc que si on travaille à p et p' fixés, et qu'on a choisi notre ε (et c'est le cas ici), la profondeur de champ ne dépend que de N . Au vu des ordres de grandeur : $f = 135\text{mm}, p \sim 10\text{cm}, p' \sim 1\text{m}, N \leq 10$ et $\varepsilon \simeq 100\mu\text{m}$, on a $\frac{fp'}{N\varepsilon p} >> 1$, et la formule se simplifie alors en :

$$\Delta = \frac{2N\varepsilon p^2}{fp'} \tag{2}$$

- En comptant pour un N donné le nombre n de traits vus nettement, on peut remonter à la profondeur de

champ Δ, à condition de connaitre l'inclinaison α que fait la grille par rapport à l'axe optique, et le nombre linéique a de traits de la grille. En effet, on a que $\Delta = N \cos\alpha / a$

- Le critère "traits vus nettement" détermine notre critère de sélection ε. On considère qu'un trait n'est plus vu net à partir du moment où son image sur l'écran se retrouve réduite d'environ un quart. Sachant que l'image sur l'écran d'un trait fait environ 1 mm d'épaisseur, on peut donc considérer que notre critère de sélection correspond à $\varepsilon = 0,25\text{mm}$
- on peut donc calculer Δ par la formule linéarisée et comparer à la valeur mesurée en comptant les traits nets. On doit obtenir sensiblement les mêmes valeurs.

Incertitudes Une des sources d'erreur de cette manipulation est que l'on étend la définition de la profondeur de champ à des points non situés sur l'axe optique, ce qui n'est pas parfaitement rigoureux...

Interprétation du lien profondeur de champ et ouverture ✍ Duffait Agreg p116. Le lien profondeur de champ et ouverture est simplement géométrique. Si on règle pour conjuguer un point A sur l'axe optique avec l'écran, son image par l'objectif retourné est nette sur l'écran. Si on prend des points légèrement éloignés de A, on obtient sur l'écran non pas des images nettes ponctuelles, mais des tâches d'un certain diamètre. Plus on ouvre le diaphragme, plus on accepte de rayons hors axe-optique, plus la tache est grande. On peut faire le dessin de Duffait Agreg p116 On a donc un compromis à trouver entre la profondeur de champ que l'on souhaite et la luminosité de l'image. *C'est là qu'est utile l'obturateur, puisqu'il n'influe que sur le temps de pose et pas sur la profondeur de champ. A noter qu'un appareil photo de plus grande qualité possédera probablement un objectif à focale variable, mais pour ceux à focale fixe, on fait en sorte de ne pas conjuguer le capteur à l'infini mais de telle sorte que l'infini ait une image nette à la limite de résolution pour améliorer la plage de netteté.*

Méthode de mise au point Ainsi, pour mettre au point en photographie, on peut ouvrir au maximum (n petit) pour mettre au point avec précision puis fermer (n grand) pour diminuer l'éclairement : l'image ne peut que plus nette.

Bonus : téléobjectif Pour un téléobjectif, de grande focale, la profondeur de champ est plus petite et la mise au point est plus critique.

2 Limite de résolution en diffraction

✍ Sextant p136

Si on le sent, on peut essayer de faire cette étude en intercalant la lunette.

Limite de résolution La résolution est la capacité à séparer des objets proches. Les facteurs qui limitent la résolution sont : les abberrations géométriques, chromatiques, la diffraction sur les montures et la structure granulaire du récepteur.

Limite de diffraction La diffraction peut être due à une monture de lentille, un diaphragme, un bord de miroir... La diffraction fait que les rayons issus d'un point de l'objet passant par la monture vont apparaître comme des faisceaux d'une certaine largeur angulaire. On comprend alors que si deux points de l'objet sont trop proches, les taches qu'il formeront sur sur l'écran qui modélise la rétine risquent de se confondre.

Critère de Rayleigh Pour quantifier cette confusion des images, qui est subjective, on utilise le critère de Rayleigh. Son principe est le suivant : chaque tache est un profil lumineux symétrique par rapport à l'image géométrique du point qui la crée. Nous voyons la somme de tous ces profils lumineux. Ainsi, si la distance entre les centres de deux taches est inférieure à leur largeur à mi-hauteur, nous ne voyons qu'une seule tache large et les deux points ne sont plus résolus. Ceci constitue le critère de Rayleigh. On fait un dessin comme Sextant Fig III.18 p136.

Vérification du critère de Rayleigh
✍ Sextant p136, Duffait Agreg p109 pour le laser. On peut utiliser une barrette CCD, mais ce n'est pas l'approche historique de Rayleigh.

Mise en évidence On simule un objet diffractant avec une fente de largeur variable, avec comme objet une bifente d'espacement connu (ex : 0.25mm ou 1mm). On ferme progressivement la fente jusqu'à ce que la bifente n'est plus distinguable.

Vérification du critère de Rayleigh Sur l'écran, On mesure l'écart entre les deux images Δ. On mesure e l'épaisseur de la fente diffractante à la limite de résolution. On vérifie visuellement en pointant un laser (vert se voit mieux, on peut utiliser deux polariseurs pour atténuer le faisceau) sur l'image et en mettant la fente dans le faisceau laser que le limite est bien due à la diffraction. On vérifie quantitativement que $\Delta = \lambda D/e$

Application à l'objectif photographique Pour l'objectif photographique, la distance de résolution sur la pellicule $\Delta = \lambda n$ avec n l'ouverture numérique. **ODG:** 10 microns.

Conclusion Nous sommes face à un de ces rares cas en physique où deux effets jouent dans le même sens : augmenter la taille du diaphragme d'ouverture permet de gagner simultanément en résolution et en luminosité. Il est néanmoins bon de conserver un diaphragme d'ouverture raisonnable pour rester dans les conditions de stigmatisme afin de ne pas créer d'aberration.

Bonus : application au microscope La limite de résolution dans le plan objet est $\Delta = 0.61\lambda/ON$ avec ON l'ouverture numérique. **ODG:** $ON = 0.25$, $\Delta \sim 1\mu$m.

3 La lunette astronomique de Kepler (1609)

3.1 Principe

Principe Une lunette astronomique est un instrument afocal : un objet à l'infini donne une image à l'infini. Il est formé de deux lentilles convergentes. L'objectif (côté objet) est une lentille de longue focale par où entre la lumière. L'oculaire (côté œil) est une lentille de courte focale par où sort la lumière. L'image intermédiaire (d'un objet à l'infini) se forme dans le plan focal objet de l'objectif, qui est confondu avec le plan focal image de l'oculaire, d'où une image à l'infini et donc l'œil de l'utilisateur qui n'a pas besoin d'accommoder. On fait un schéma

Bonus : lunette de Galilée La lunette de Galilée est un système afocal. La différence est que l'oculaire est une lentille divergente.

Réalisation expérimentale d'une lunette astronomique sur banc optique
✍ Duffait Agreg.
On présente pédagogiquement les trois blocs : objet, lunette, oeil sur le montage et sur le schéma.

Modélisation de l'étoile à l'infini : collimateur : placer l'objet dans le plan focal objet d'une lentille L1 (ex : $f = 300$mm) par autocollimation. Pour le choix de la focale, ex : $f = 100 - 150$mm, on la choisit petite pour agrandir l'image à l'infini mais les focales < 50 mm sont sensibles aux abberrations. La lentille L1 est appelée lentille de projection. L'ensemble objet+lentille est appelé collimateur. Une grille (superposée à une lettre F) a par exemple l'avantage de donner un motif périodique, qui permet de réduire les incertitudes. Un dépoli permet de diffuser la lumière et supprimer l'image du filament. On choisit la monture de L1 suffisamment grande pour que le faisceau lumineux en sortie d'objet éclaire l'intégralité de la monture de l'objectif (lentille L2). Ceci permet par la suite de faire varier l'ouverture du diaphragme d'ouverture en positionnant un diaphragme devant la monture de l'objectif. *La focale est choisie pour minimiser l'encombrement.* Une fois l'objet à l'infini créé, rendre solidaires la lentille et l'objet à l'aide d'une barre et les fixer sur le banc définitivement.

Réalisation de l'œil : l'œil est construit à l'aide d'un écran placé dans le plan focal image d'une lentille L4 (ex : $f = 300$mm). Ces deux éléments doivent être rendus solidaires également, pour faciliter les déplacements de l'œil simplifié sur le banc optique. Pour s'assurer d'être dans le plan focal de la lentille, il faut d'une part que l'image de l'objet à l'infini soit nette sur l'écran de l'œil simplifié, et d'autre part que toute translation de l'œil simplifié sur le banc optique n'affecte pas la netteté de l'image.

Réalisation d'une lunette : Prendre une lentille L2 pour l'objectif et L3 pour l'oculaire. Pour avoir un grossissement supérieur à 1, il faut choisir $f'_2 > f'_3$. Exemple : achromat $f_{obj} = 300$ mm et achromat $f_{oc} = 100$ mm. Construire un système afocal entre l'objet et l'œil en faisant correspondre le plan focal image de L2 avec le plan focal objet de L3. La lunette est alors réalisée. Le système afocal est réalisé quand l'image sur l'écran est nette. On peut les rendre solidaires. Vérifier que les longueurs entre les objets correspondent aux focales des lentilles. Si ce n'est pas le cas, vérifier tous les éléments du montage.

3.2 Mesure du grossissement

Définition : grosssissement L'objet et l'image à travers une lunette sont tous deux situés à l'infini. Par conséquent, le grandissement transversal n'a aucun sens ici. La grandeur adaptée à ce cas de figure s'appelle le grossissement optique G, ou grandissement angulaire. Avec les notations de la figure 5, il est défini par

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

Expression dans les conditions de Gauss En se plaçant dans les conditions de Gauss (approximation des petits angles), on peut exprimer le grossissement en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire,

$$G \approx -\frac{f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{oc}}}$$

Prenons un objet à l'infini dont l'image sur l'écran a une taille l_0 sans lunette et une taille l avec la lunette. Dans les conditions de Gauss, on trouve alors

$$G = -\frac{l}{l_0}$$

On a ramené une mesure d'angle pour système afocale à une mesure de longueur, dans les conditions de Gauss. Nous utilisons dans la suite cette dernière relation pour vérifier expérimentalement l'expression du grossissement.

Mesure du grossissement

Objectif Il s'agit de vérifier l'adéquation entre les résultats expérimentaux et la modélisation dans le cadre de l'optique géométrique.

Mesure Choisir un objectif et un oculaire de distances focales connues et mesurer le grossissement en utilisant la relation $G = \frac{l}{l_0}$. On le fait pour plusieurs valeurs de f'_{obj} et f'_{oc}. On trace l/l_0 en fonction de $f'_{\text{obj}}/f'_{\text{oc}}$: on s'attend à une droite de pente 1 (on a pris les valeurs absolues)

Optionnel : mesure de focale Si on le sent, on peut mesurer la focale d'une lentille en direct, par la méthode de Bessel par exemple.
Sources d'incertitudes Deux mesures de longueur. Attention aux aberrations qui pourraient fausser la mesure.

Bonus Si le temps le permet, on peut répéter la mesure précédente pour différents jeux d'objectifs et tracer une droite

Ordres de grandeur En pratique, le grossissement varie de -10 à -3000.

↓ *Comme pour l'appareil photo, on a en réalité la possibilité de placer des diaphragmes pour améliorer la lunette.*

3.3 Diaphragme de champ, diaphragme d'ouverture

Diaphragme de champ, diaphragme d'ouverture Dans une lunette astronomique réelle, la monture de l'objectif joue le rôle de diaphragme d'ouverture et contrôle la luminosité de l'image. En revanche, la monture de l'oculaire joue le rôle de diaphragme de champ et contrôle le champ visible de l'image. C'est également le cas sur la lunette modèle construite sur banc optique dès lors que les montures des lentilles jouant le rôle d'objectif et d'oculaire ont un diamètre comparable. *Les conjugués du diaphragme d'ouverture dans les différents espaces (objet ou image) sont appelés pupilles. Les conjugués du diaphragme de champ sont nommés lucarnes.*

Mise en évidence : diaphragme de champ, diaphragme d'ouverture

Diaphragme de champ, d'ouverture Placer deux diaphragmes à iris contre l'objectif et l'oculaire et montrer leur rôle distinct sur l'image définitive : l'un contrôle la luminosité de l'image (ouverture), l'autre le champ (partie de l'objet visible à travers l'instrument). *Si on place des diaphragmes devant lesdites lentilles : si l'un des diaphragmes est beaucoup plus fermé que l'autre, il se peut qu'il devienne à la fois diaphragme d'ouverture et diaphragme de champ.*

Champ de contour ✍ schéma en jpg. Lorsqu'on ferme le diaphragme de champ, on observe un brouillage sur les bords, c'est le champ de contour. En positionnant le diaphragme dans le plan de l'image intermédiaire, on ne

brouille plus les bords.

Cercle oculaire Le cercle oculaire est l'image géométrique de la monture de l'objectif par l'ensemble des éléments optiques qui le suivent, réduits ici au seul oculaire. Étant donné que l'objectif joue le rôle de diaphragme d'ouverture dans la lunette astronomique, le cercle oculaire est la pupille de sortie du système optique. Concrètement, le cercle oculaire est à l'endroit où la section du faisceau lumineux après l'oculaire est la plus petite, la plus brillante et la plus nette. Il faudra placer la lentille de l'œil simplifié systématiquement au niveau du cercle oculaire pour bénéficier d'une observation optimale. Par un calcul géométrique, on obtient la position du cercle oculaire. On fait un schéma

$$\overline{O_{\text{oc}}A} = \left(f'_{\text{oc}} + f'_{\text{obj}}\right) \frac{f'_{\text{oc}}}{f'_{\text{obj}}}$$

et le diamètre du cercle oculaire D_{CO} est lié au diamètre du diaphragme d'ouverture D_{DO} par la relation

$$D_{\text{CO}} = \frac{D_{\text{DO}}}{G}$$

Position et taille du cercle oculaire

Objet diffusant Prendre un objet diffusant, par exemple un verre dépoli, pour augmenter la luminosité transmise et ne pas avoir à se soucier d'éventuelles images intermédiaires de l'objet initial.

Position du cercle oculaire Pour trouver le cercle oculaire, déplacer un écran ou une feuille de papier derrière la lunette. L'image formée en aval de la lunette qui sera la plus petite, la plus nette et la plus lumineuse, constitue le cercle oculaire. Mesurer la position du cercle oculaire et comparer à la formule théorique.

Diamètre du cercle oculaire Pour mesure le diamètre du diaphragme, on peut d'abord fixer une longueur sur un pied à coulisse puis refermer le diaphragme autour. Mesurer le diamètre du cercle oculaire correspondant au diamètre fixe d'un diaphragme placé devant l'objectif, qui joue alors le rôle de diaphragme d'ouverture de diamètre modifiable. On place un diaphragme accolé à l'objectif pour contrôler le flux lumineux d'entrée dans le système optique et piloter la taille du diaphragme d'ouverture.

3.4 Verre de champ

✍ Duffait Agreg p166, schéma en capture.

Verre de champ On peut améliorer l'instrument en plaçant dans le plan de l'image intermédiaire une lentille convergente de grand diamètre ($f' = 15$ cm). Le grossissement de la lunette n'est pas modifié et le cercle oculaire est rapproché de l'oculaire. Cette lentille supplémentaire est le verre de champ. Le fonctionnement du verre de champ est expliqué à l'aide de schémas

Verre de champ

Effet de verre de champ Placer un diaphragme de champ et un verre de champ au niveau de l'image intermédiaire et observer l'effet sur l'image. Le champ observable augmente ! *Attention à bien replacer l'œil au cercle oculaire après avoir placé le verre de champ pour maximiser la luminosité de l'image.*

Bonus : si le verre de champ est mal placé Pour notre lunette, le fait de ne pas placer le verre de champ sur l'image intermédiaire a un impact apparent sur le grossissement de la lunette. En réalité, le système global n'est plus afocal et la notion de grossissement n'est plus adaptée au système car les rayons en sortie ne sont plus parallèles entre eux, pour une inclinaison donnée. Le verre de champ sera correctement placé lorsque l'image aura la même taille avec et sans verre de champ. En pratique, on peut décaler légèrement le verre de champ (oculaire positif ou négatif) pour ne pas mettre au point sur les poussières du verre de champ.

4 Le microscope

4.1 Principe

Principe du microscope ✍ LP 32 Microscopies On note au tableau le diagramme récapitulatif des images/objet à travers les lentilles, dans les notes de la LP 32. On montre les lentilles correspondantes et les omages intermédiaires. Le microscope étudié ici est une reconstitution, à l'aide des éléments de la collection, du modèle d'un microscope optique. Celui-ci comporte deux lentilles convergentes, 1 et 2 , appelées respectivement objectif (car plus proche de l'objet observé) et oculaire (plus proche de l'oeil de l'observateur). Le principe de fonctionnement est le suivant : on veut faire observer un objet AB perpendiculaire à l'axe optique, avec A situé peu avant F_1.

- L'objectif donne une image réelle agrandie et renversée A_1B_1. *Pour avoir un agrandissement important et un encombrement réduit, on utilise une lentille de courte focale* ***ODG:*** *qq mm à qq cm.*
- L'oculaire agit comme une loupe et donne de l'image intermédiaire réelle une image virtuelle finale agrandie. Dans une utilisation normale, A_1B_1 est dans le plan focale object de l'oculaire et l'image est rejetée à l'infini. Cela permet un confort de l'utilisateur, qui n'a pas besoin d'accommoder.

L'image finale, qui est l'image de A_1B_1 par l'oculaire, est renvoyée Les rayons formant un angle α' avec l'axe optique.

Modélisation de l'oeil Nous projetons cette image dans le plan focal image d'une lentille modélisant l'oeil.

Présentation du microscope
Eclairage Les objets sont éclairés en lumière parallèle, réalisée à l'aide de l'alignement d'une lampe quartz-iode, d'un filtre anti-calorique, d'un condenseur récoltant la lumière sur un diaphragme, et enfin d'une lentille convergente dont le foyer objet est situé au niveau du diaphragme.

Diaphragme d'ouverture, diaphragme de champ On place les diaphragmes à l'entrée du microscope (ouverture) et à la sortie (champ). On les ferme et on voit la conséquence sur l'image

Bonus : abberations On peut ici observer assez facilement l'aberration de distorsion, due au fait que l'on éclaire des zones de l'oculaire assez éloignées de l'axe optique.

4.2 Grossissement commercial

Grossissement commercial Une des principales caractéristiques intéressantes d'un tel microscope est son grossissement commercial G_C, défini comme suit :

$$G_C = \frac{\alpha'}{\alpha_{PP}}$$

où α' est l'angle sous lequel on voit l'objet à travers le microscope, à l'infini, et α_{PP} l'angle sous lequel on verrait l'objet si on l'observait au Punctum Proximum, soit à une distance $d_m = 25\text{cm}$ de l'oeil (pour un oeil jeune émetrope) On va chercher ici à déterminer le grossissement commercial de notre microscope.

Etape 1 : grandissement Pour ce faire, on va dans un premier temps s'intéresser au grandissement de l'objectif, noté γ_{obj}. Avec la relation de conjugaison de Descartes appliquée à AB et son image A_1B_1, on obtient que :

$$\gamma_{obj} = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = -\frac{\Delta}{f_1'}$$

où Δ est la distance (positive) entre le foyer image F_1' et l'image A_1 $(= F_2)$

Etape 2 : grossissement commercial de l'oculaire Par ailleurs, on va également s'intéresser au grossissement commercial de l'oculaire. Celui-ci est égal au rapport de l'angle α'' sous lequel on voit un objet placé en F_2 à travers l'oculaire seul, divisé par α_{PP}

$$G_{C,oc} = \frac{\alpha''}{\alpha_{PP}} = \frac{\overline{A_1B_1}}{f_2'}\frac{d_m}{\overline{A_1B_1}} = \frac{d_m}{f_2'}$$

On a alors que $G_C = \frac{\alpha'}{\alpha_{PP}} = \frac{\overline{A_1B_1}}{f_2'}\frac{d_m}{\overline{AB}} = \gamma_{obj}G_{C,oc}$

Mesure du grossissement commercial
Objectif Le but est de déterminer le grossissement commercial du microscope dans les conditions d'utilisation adoptées, en déterminant d'une part le grandissement de l'objectif, et d'autre part le grossissement commercial de l'oculaire.

Mesure

- On a déterminé en préparation la focale f_1' par autocollimation
- On mesure Δ à l'aide du banc d'optique et on déduit γ_{obj} ;
- On a mesuré de même la focale f_2' par autocollomation, ce qui nous donne $G_{C,oc}$;
- On a donc enfin accès à G_C. On trouve $\boxed{G_c = \ldots \pm \ldots}$.

4.3 Taille du cercle oculaire

✍ Houard
Cercle oculaire Même si l'image est rejetée à l'infini, il est préférable de placer l'oeil à un endroit particulier pour observer l'image, c'est le cercle oculaire. [montrer]. C'est le cercle oculaire, qui est l'image géométrique de la monture de l'objectif par l'oculaire. Il contient donc le maximum de luminosité du système en sortie puisque tous les rayons lumineux entrant dans l'oculaire passent par lui. Il faut donc placer ce dernier au niveau du cercle oculaire pour collecter le maximum de lumière.

Taille du cercle oculaire
✍ Houard p167 **Mesure** On compare avec la théorie.

Le diamètre du cercle oculaire étant très inférieur devant celui de la pupille **ODG:** 0,1 mm $\ll$ 1 mm, on récupère bien la totalité de la lumière). En pratique, le cercle oculaire est très proche du point focal image de l'oculaire F_2' (différence de l'ordre du millimètre)

Dans un microscope, les montures des lentilles jouent le rôle de diaphragme d'ouverture (limite la luminosité) pour l'objectif et de diaphragme de champ (limite la zone observée) pour l'oculaire. Hors tout diaphragme diffracte, ce qui induit une limite de résolution...

4.4 Limite de résolution en diffraction

Limite de diffraction On va chercher ici à calculer la limite de résolution en diffraction de notre microscope. En effet, la diffraction sur la monture de l'objectif (qui est notre diaphragme d'ouverture) fait que les rayons issus d'un point de l'objet passant par la monture vont apparaître comme des faisceaux d'une certaine largeur angulaire. On comprend alors que si deux points de l'objet sont trop proches, les taches qu'il formeront sur sur l'écran qui modélise la rétine risquent de se confondre.

Critère de Rayleigh Pour quantifier cette confusion des images, on utilise le critère de Rayleigh. Son principe est le suivant : chaque tache est un profil lumineux symétrique par rapport à l'image géométrique du point qui la crée. Nous voyons la somme de tous ces profils lumineux. Ainsi, si la distance entre les centres de deux taches est inférieure à leur largeur à mi-hauteur, nous ne voyons qu'une seule tache large et les deux points ne sont plus résolus. Ceci constitue le critère de Rayleigh.

Mesure de la limite de Rayleigh Il existe donc une distance δx dans le plan d'observation du microscope qui correspond à ΔX sur l'écran de projection, avec ΔX la largeur à mi-hauteur des taches de diffraction. La distance δx est la limite de résolution en diffraction. Si l'objet diffractant est de taille a, la longueur d'onde utilisée est λ, et la longueur entre cet objet et l'écran d'observation est d, alors la tache centrale de la figure de diffraction est de largeur $\lambda d/a$. Au vu du profil de la tache, la largeur à mi-hauteur est bien approximée par $\Delta X = \lambda d/a$. Au critère de Rayleigh, on a donc $\Delta X = \lambda d/2a$. En fait, les largeurs des tâches sont agrandies par le microscope, mais on va voir comment s'affranchir de ce pré-facteur.

Limite de résolution en diffraction

Principe Le but est de déterminer la valeur de δx. Sachant que celle-ci est trop petite pour être aisément mesurable, il faut employer une ruse. On va en fait diminuer artificiellement le diaphragme d'ouverture en plaçant une fente de largeur réglable devant l'objectif. Par ailleurs, on va fixer la distance $\delta x_0 = 1$ mm entre les deux points de l'écran que l'on cherche à résoudre : en l'occurrence, deux fentes verticales. On mesure la taille a du diaphragme d'ouverture qui met nos deux fentes à la limite de résolution. On sait qu'alors $a\delta x_0 = a_{obj}\delta x$ où a_{obj} est le diamètre de l'objectif utilisé (connu) et δx la « vraie » limite de résolution en diffraction du microscope (ce que l'on cherche).

Mesure

- On observe l'image géométrique des deux fentes : les fentes objets sont séparées d'une distance δx_0=1 mm, leurs images sont séparées d'une certaine distance ΔX_0 sur l'écran. On repère ces images au crayon.
- On diminue la largeur a de la fente jouant le rôle de diaphragme d'ouverture jusqu'à ne plus distinguer les images des deux fentes objets (ce point est un peu délicat à trouver) ;
- Il nous faut donc affiner puis mesurer la largeur a que nous venons d'obtenir. Pour cela, on utilise une diode-laser à $\lambda = 532$ nm, verte pour une visibilité optimale. Le faisceau issu de celle-ci est injecté dans le montage via une lame semi-réfléchissante, ce qui permet de superposer son image et celle des fentes objets. Le faisceau laser a été auparavant ajusté de sorte que son image géométrique sur l'écran se fasse sur celle d'une des deux fentes objets. Comme on a resserré le fente d'ouverture, le laser est diffracté et forme une tâche centrale de largeur $\lambda d/a$. La première annulation de sa figure de diffraction se situe alors à une distance $\Delta X = \lambda d/2a$ du centre de la figure. En fait ces distances sont multipliées par un préfacteur lié au microscope, mais qui se simplifie lorsqu'on les compare, puisque TOUS les rayons (laser compris) passent par le microscope. Le premier zéro donc être au niveau de l'image de la seconde fente objet. Si ce n'est pas exactement le cas, on peut re-régler l'ouverture de la fente pour affiner ;
- Une fois ce réglage précis effectué, on retire l'objectif et l'oculaire du banc d'optique, et on place un écran à une distance d_0 connue de la fente d'ouverture. On mesure alors la largeur de la tâche centrale de diffraction, qui vaut (sans préfacteur ici) exacement $\lambda d_0/a$ et on calcule donc a ;
- On a finalement accès à x reel = ax 0 /a obj

Conclusion

On a donc au cours de ce montage réalisé plusieurs manipulations :

- l'étude d'un compromis à trouver, dans le cadre des instruments photographiques, entre la luminosité et la profondeur de champ, dont les dépendances en le nombre d'ouverture sont opposées...
- la mesure de grandeurs importantes permettant la caractérisation d'une lunette, ainsi que de ses performances en tant qu'instrument d'observation ;
- la mise en évidence de certains phénomènes limitant ces performances (aberrations des lentilles, diffraction) ;

Ouverture : Microscope.

Il existe une troisième famille d'instruments qui n'a pas était abordée dans ce montage : il s'agit des instruments qui ont pour unique but de transporter de la lumière. On peut citer les phares côtiers et les catadioptres.

On peut réfléchir à l'amélioration des performances des instruments d'optique, en corrigeant du mieux possible les aberrations des lentilles, et en essayant de diminuer la limite de résolution en diffraction. Jouer sur l'écart aux conditions de Gauss permet par ailleurs de trouver de bons compromis (voir sujet A de l'agreg blanche, Amici,...). Enfin, il est des cas où les instruments optiques peuvent être dépassés en performance (microscopie électronique).

Compléments/Questions

Questions

- Qu'est-ce qu'une lentille achromat ? C'est un doublet de lentilles accolées conçues dans des matériaux différents afin de compenser leurs aberrations chromatiques.
- Comment mesurer la distance focale d'une lentille par autocollimation ? L'autocollimation pour une lentille convergente consiste à placer un miroir plan derrière la lentille et parallèlement à celle-ci. On déplace ensuite la lentille afin de former l'image d'un objet (un trou par exemple) sur lui-même, la distance entre la lentille et l'objet correspond alors à la distance focale.
- Qu'est-ce que le cercle oculaire ? C'est l'image de la monture de l'objectif à travers l'oculaire. Il est conseillé de placer l'oeil au niveau du cercle oculaire pour maximiser la lumière reçue, car il correspond à la section la plus étroite du faisceau sortant de l'instrument.
- Quel est l'intérêt d'un verre de champ ? Un verre de champ est une lentille fortement convergente placée au niveau de l'image intermédiaire. Il permet d'augmenter la quantité de lumière sortant de l'objectif qui passe à travers l'oculaire. L'image en sortie de l'instrument est donc plus lumineuse, sans qu'on ait modifié le grossissement.
- Quels sont les défauts de l'oeil les plus courants ? Est-ce que le réglage d'un oculaire dépend de l'observateur ? Un oeil normal voit net entre son Punctum Remotum à l'infini, sans accommoder, et son Punctum Proximum à 25 cm environ en accommodant. Un oeil hypermétrope voit net de loin, mais flou à partir d'une distance supérieure à 25 cm. Un oeil myope ne peut pas voir net à l'infini, par contre sa vision de près est nette pour une distance inférieure à 25 cm. Le réglage d'un oculaire dépend de l'observateur car il est adapté à la distance de son Punctum Remotum pour lui éviter d'accommoder. Il est possible d'observer à travers un oculaire qui ne correspond pas aux caractéristiques de son oeil, mais cela risque de le fatiguer.
- La lentille formant l'oeil inverse l'image de l'objet sur l'écran. Est-ce qu'il se passe le même phénomène dans nos yeux ? Oui, le cristallin produit des images inversées sur la rétine. Le cerveau inverse ensuite l'image pour la remettre à l'endroit.
- Pourquoi une lunette est caractérisée par son grossissement, alors qu'un microscope est caractérisé par sa puissance ? Une lunette observe un objet à l'infini, qui est défini par un angle, et créé une image à l'infini pour éviter à l'oeil d'avoir besoin d'accommoder. Le paramètre d'intérêt est alors le rapport de ces angles, c'est-à-dire le grossissement.
- Dans le cas du microscope, on regarde un objet à une certaine distance, et l'on créé une image à l'infini. Le paramètre d'intérêt est alors le rapport de l'angle en sortie sur la distance à l'objet, c'est-à-dire la puissance.
- Qu'est-ce que la profondeur de champ d'un microscope ? La profondeur de champ est la largeur de la plage sur laquelle un objet produit une image nette en sortie du microscope. On l'augmente en fermant progressivement le diaphragme de champ.
- Comment fonctionne le dispositif Caliens ? Le dispositif Caliens est un capteur CCD, constitué de nombreuses photodiodes. Elles délivrent une tension proportionnelle au flux lumineux qu'elles reçoivent.
- Qu'est-ce que le critère de Rayleigh ? Le critère de Rayleigh postule que deux trous diffractants de diamètre D ne peuvent plus être distingués si le maximum de l'une des taches d'Airy est confondu avec la première annulation de la seconde.
- Question : Comment est constitué l'oeil, est-ce que la partie du montage est représentative d'un véritable oeil humain ? Réponse : Pas représentatif, très schématisé. Ecran = rétine, lentille = cristallin. Oeil humain contracte le cristallin pour changer sa distance focale, ordre de grandeur du mm. La distance cristallin-rétine est fixée.
- Question : Objet + lentille pour faire une image à l'infini, comment ça s'appelle ? Réponse : Un collimateur
- Q : Quel cadre pour utiliser pour les formules données dans les calculs ? R : Conditions de Gauss, rayons parallaxes
- Q : Á quoi comparer les valeurs obtenues ? Aux valeurs théoriques à partir des focales indiquées sur les lentilles. C'est un choix, on pourrait déterminer chacune des focales séparément avec la méthode de Bessel ou une méthode d'auto-collimation.
- Q : Regressi donne incertitude à 95% et incertitude-type, pourquoi choisir type ? R : Étant donné que dans l'expérience on mesure les incertitudes-type, on reste cohérent

- Q : Lunette astronomique, les rayons en pratique n'arrivent pas avec parallèles à l'axe optique, si on met un angle, l'image est droite ou inversée ? R : Inversée, c'est le cerveau humain qui retourne ensuite l'image de la rétine
- Q : L'étoile la plus proche du système solaire ? Quelle distance ? R : Proxima du Centaure, 4,22 années lumière
- Q : Pourquoi des lentilles achromatiques ? R : Pour éviter les aberrations chromatiques, on a la même image pour toutes les longueurs d'onde. Fait en accolant des verres d'indices différents qui vont annuler mutuellement la dispersion chromatique de l'autre. Une convergente crown accolée à une divergente flint (vergence différente en valeur absolue sinon elles s'annulent entre elles).
- Q : Différence grossissement/grandissement ? R : Le grossissement est un rapport d'angle, le grandissement un rapport de taille. Le grandissement a plus de sens pour un microscope où l'objet est petit et on veut le grandir pour l'observer, le grossissement a plus de taille pour une lunette où on observe des objets grand mais lointain, qu'on sépare avec un plus gros angle pour mieux les distinguer.
- Quelle est la valeur de Δ dans un microscope commercial ?
- Pourquoi met-on un filtre anti-calorique et comment celui-là est-il fait ?
- De quoi est composé l'objectif de microscope et quel est son rôle dans un appareil photo.
- Pourquoi retourne-t-on l'objectif de l'appareil photo ?
- Quel est le rôle d'un dépoli ?
- Comment faire si on veut observer un objet à l'infini ?
- Qu'est-ce qu'une autocollimation ?
- Pourquoi avoir choisi un quadrillage comme objet ?
- As-tu mesuré les distances focales des lentilles utili- sées ? Comment aurait-on pu le faire ? Comment une lampe quartz-iode fonctionne-t-elle ? (Il s'agit d'une lampe à incandescence mais avec quelques modifications. Le gaz dans l'ampoule contient de l'iode qui vient redéposer le tungstène sur le filament, permettant d'augmenter la durée de vie. Le verre de l'ampoule est en quartz, ce qui permet de chauffer beaucoup plus qu'avec une ampoule ordinaire. Chauffer permet d'augmenter l'intensité lumineuse et de décaler le spectre vers le visible (c'est grosso modo un spectre de corps gris).)
- Comparer l'oeil modèle utilisé à un véritable oeil.
- Comment les incertitudes sont-elles prises en compte par Latis Pro ? Comment se fait la régression linéaire ? Peut-on estimer l'incertitude sur le coefficient directeur ?
- Est-il pertinent de présenter l'expérience de mesure de grossissement comme une mesure de la focale de l'objectif ? Comment présenter l'expérience différemment ? L'incertitude de réglage doit-elle être prise en compte dans l'incertitude sur le grossissement expérimental ?
- Si l'on refait le réglage plusieurs fois, réduit-on cette incertitude ? NOn, on l'estime mieux.
- Comment choisir la focale du verre de champ ?
- Tu as parfois retourné les lentilles de 180 deg : pourquoi ?
- Que sont les aberrations ? À quoi sont-elles dues ? Que sont les conditions de stigmatisme ? Quel est l'intérêt des diaphragmes ?
- Que prédit la théorie pour le pouvoir de résolution de la lunette ? Calculer l'ordre de grandeur du pouvoir de résolution expérimental.
- Pourquoi avoir choisi, au détriment de la luminosité, un point source pour éclairer le microscope ? (À notre avis, ce n'est pas nécessaire, mais il faut s'en assurer, et réfléchir à la nécessité le cas échéant.)
- Démontrer l'expression du grandissement du microscope en fonction des focales des lentilles le constituant.

Résumé

Lunette astronomique

Préparation :

- Ne pas utiliser une grille en objet pour constater que l'image est renversée.
- Solidariser la lentille et l'écran qui constituent l'oeil. Aussi solidariser l'objet et la lentille qui l'envoie à l'infini.

Présentation : Trois bloc : objet envoyé à l'infini, lunette afocale et oeil fictif.

- Pour faire image à l'infini, faire l'autocollimation en live.
- Pour la définition du grossissement, mettre un environ égal $G = \tan\alpha'/\tan\alpha \simeq \alpha'/\alpha$. Préciser si on travaille en algébrique $G \simeq -\alpha'/\alpha$ ou en valeur absolue.
- En live : déplacer la lentille de l'oeil fictif au niveau du cercle oculaire.
- Pour illustrer le diaphragme d'ouverture/de champ, mettre un diaphragame au niveau de l'objectif/oculaire et fermer et regarder l'influence sur l'image.
- On peut illustrer l'utilisation d'un verre de champ pour augmenter le champ.
- Au lieu d'enlever la QI pour mettre un laser, on peut utiliser une lame semi-réfléchissante et introduire le laser en biais, en mettant un écran pour bloquer la transmission du laser.
- Quand on achète une lunette, on peut changer l'oculaire, c'est pour cela qu'on va étudier l'évolution du grossissement en fonction de la focale de l'oculaire.

La lentille qui envoie l'objet à l'infini est la lentille de projection.

L'image à travers la lunette est à l'envers car même si le grandissement transverse est positif (cf. schéma), on a l'impression en sortie de voir les rayons provenir de l'autre côté de l'axe optique.

Autre manip : appareil photo. Influence nombre d'ouverture sur la luminosité, profondeur de champ. **Faire que de l'optique géométrique.**

Questions

Passage

I/ Lunette astronomique a) prsentation de la lunette à l'aide d'un schéma en diapo. Pour faire image à l'infini utilise autocollimation. b)Définition du grossissement. Change la deuxième lentille (100mm, 150mm, 200mm) et mesure le grossissement (heu ici grandissement ? mesure la taille de l'objet) (avec incertitudes) pour tracer $G = f(f_2)$ et vérifier la valeur de f_1.

Explication du cercle oculaire. Déplace l'oeil pour que l'image soit au cercle oculaire.

Met un diaphragme entre les deux lentilles de la lunette. Diaphragme de champ.

Verre de champ ? Mise en place. Permet d'augmenter le grossissement.

Enlève la grille, utilise des fentes. + laser avec lame séparatrice après les fentes et la lentille 1. Diaphragme d'ouverture : fente réglables après la lame séparatrice. Ferme la fente réglable, au bout d'un moment on ne peut plus distinguer les deux images des fentes. Critère de Rayleigh. But du laser extinction du laser au niveau où était la deuxième fente ? Va calculer la taille limite du diaphragme d'ouverture pour laquelle on peut encore distinguer les deux objets.

Plan

Questions

Dans la lunette astronomique, il a mis un verre dépoli après le filtre anticolorique. Est-ce vraiment necessaire ? Dans I)1). Calcul le grossisment, formule avec le grandissement. Comment fait il le lien ? Avec le distance ? Avec la lentille de projection (de l'oeil ?).

But d'un microscope ? Grossir. Or ici dans son microscope, l'image est plus petite que l'objet. Faire attention à l'ordre des focales dans le montage. Question sur la focale de l'oeil fictif, pourquoi cette valeur ? Image agrandie ou rétrécie, juste lié à la distance focale des lentilles ou aussi lié aux positions des lentilles ? (Réponse perso : ça dépend aussi de Delta, distance entre F_1 et F_2, on le voit dans le grossissement par la première lentille.)

Commentaires sur le montage à partir de la lampe. QI. Verre anticalorique. Trous. Lentille avec le trous dans le plan focale.

Respecte les conditions de Gauss ? Ici les rayons du trous passent sur le bord de la lentille, pas top. (question perso, heu comment on ferait du coup ? On place la lentille là où la lampe converge en un point, puis après place l'objet.)

Rôle du filtre anticalorique. Besoin pour toutes les sources ? Pourquoi pour la QI ? QU'est ce que ça veut dire abimer les lentilles ? Filtre interférentiel, coupe les rayons infrarouges, pas besoin pour laser et spectrales et led. Chauffe la lentille. Besoin pour les lampes à filament.

Montage d'avant avait utilisé verre dépoli : rôle ? Ne pas avoir l'image du filament de la QI. Plusieurs angles pour les rayons (pourquoi c'est ce que l'on veut ?)

1er montage : aussi objet à l'infini avec une grille.

Grossissement (angles) : égalités strictes ? Non conditions de Gauss. Signe moins dans la grossissement. Utiliser une grille ne permet pas de voir si l'image est renversée ou pas. Ca peut être une mini-vérification à l'oral que de montrer que l'image est bien renversée. Et bilan dans le calcul ne pas oublié le moins. Ou alors dis que le grossissement on le donne en valeur absolue.

Lors de la mesure de la taille de l'image, comment étaient faites les mesures ? D'où proviennent les incertitudes ? (la règle). $\delta = 1 graduation/\sqrt{3}$ sous quelle hypothèses ? (d'après bb c'est quand on prend une porte). Intervalle de confiance à 95%. Pourquoi ? C'est quoi ?

Cercle oculaire. Comment a réglé l'oeil ? A envoyé un faisceau à l'infini, et regarde image nette sur l'écran.

Il a écrit 465 ± 100, quel sens ? Reécrit avec les normes. Sur ajustement de la partie 1, il a mis une ordonnée à l'origine. Pourquoi ? D'où elle vient ? Comment on peut l'interpréter ? Dans son cas, le zéro est compris dans son intervalle d'incertitude donné par régressi donc on est ok ! Sinon ne pas oublier de regarder r^2.

Question en plus : méthodes pour determiner la distance focale. Autocollimation. Bessel (moment où on n'obtient plus les deux images en déplaçant la lentille). Troisième méthode ?

Dans quel cas on considère un objet à l'infini ? (en gros pour dire que la lumière au plafond n'est pas rigoureusement à l'infini).

Commentaires

$1/\sqrt{3}$ distrib homogène/ porte. Si on met 95% tout savoir, ils vont shotgun les questions. 95% deux fois l'écart type. Commenter les incertitudes (j'ai utilisé une règle, deux fois le machin). Modélisation : grandes incertitudes, dire pourquoi, ordonnée à l'origine dire si ok ou pas. Ne pas utiliser excel. Si utilise python ou regressi, avoir au moins une idée de comment il fait la régression (moindre carré ?).

Passage : Julie

Plan :

Petite intro sur la motivation de savoir caractériser des instruments, avec l'exemple d'une lentille. Auto collimation insuffisante en précision.

I) Méthode de Bessel. Montage 4f et mesure d'une focale f' inconnue $D^2 - d^2 = 4f'D$. On mesure la distance D au mètre, et on rajoute aux points pris en préparation sur Regressi. Le point n'est pas totalement sur la courbe, même avec la barre d'erreur. On extrait cependant $f' = 19.6 \pm 0.1 cm$ (conclusion vis à vis de ce que fournit le constructeur ?).

II) Lunette astronomique (schéma au tableau) 1)Grossissement $G = \alpha'/\alpha = A'B'/AB = f_obj/f_occ$. On fait varier f_occ pour remonter à f_obj. On a solidarisé la l'occulaire et l'écran (oeil). On précise qu'ici c'est pas vraiment une méthode précise de le mesure d'une focale, on cherche plutôt à vérifier la relation de grossissement.

2) Diaphragme de champ et d'ouverture. On définit au tableau les deux diaphragmes (l'occulaire est le diaphragme de champ, qui limite l'extension spatiale et l'objectif est le diaphragme d'ouverture qui limite quantité de lumière).

III) Le microscope. 1)Puissance $P = \Delta/f_obj f_occ$ et $\frac{A_2B_2}{f_occ} = \frac{d - f_obj - f_occ}{f_occ f_obj}$. On monte en live le microscope. On trouve la première image intermédiaire et on déplace la deuxième lentille (occulaire) pour former une image nette sur l'oeil. On mesure alors la distance Δ en fonction de la taille de l'image sur l'oeil (on veut vérifier la loi ci-dessus).

2) Critère de Rayleigh. $\Delta\theta > 1.22\lambda/D$. Avec bifentes et caméra CCD, on a le profil d'intensité pour deux objets considérés comme ponctuels (En lumière blanche ? ? ? ?) et on peut illustrer qualitativement le critère de Rayleigh.

Remarques / Commentaires

- prise en vidéo de la leçon.
- diffraction sur une fente : ouverture du diaphragme suffisante implique pics bien définie et critère de Rayleigh respecté, sinon étalement.

- Quel est la meilleure méthode (celle qui réduit l'incertitude) pour mesurer une focale ?
- Toujours prendre les mesures de distances au pieds des instruments.
- Quel est la conséquence direct du diaphragme sur la profondeur de champ ?

Questions

- Méthode de Silberman ? Focométrie en montage 2f-2f (c'est en fait le montage 4f), cf fascicule TP.
- Sources d'incertitudes dans le premier montage ? Une incertitude sur les mesures (au mètre) mais surtout sur repérer la position exacte où l'image est nette (surtout quand elle est petite). La mesure de distance objet écran est un peu subtile si l'objet n'est pas très bien fixée.
- Traitement statistique mieux adapté à cette manip ? On fait par exemple 10 manip où on a 10 valeurs de f' avec éventuellement un coeff de Student pour avoir un intervalle de confiance(ou bien avec l'écart type) (on trace pas une droite, on fait pour une valeur de D). Apparemment c'est plus à la mode dans les lycées (rip le poste en prépa). Ce qui gène c'est le côté boîte noire dans le calcul d'incertitude.
- Que des lentilles dans un instrument d'optique ? Aussi miroirs (télescopes).
- Bien penser à noter les focales au tableau.
- Comment on a régler l'oeil ? Auto-collimation avec la lampe QI (un diaphragme ça serait bien). Position de l'oeil ? Normalement on le met au voisinage du cercle oculaire (image de l'objectif par l'oculaire), là où le maximum de lumière passe.
- Autres méthodes pour faire un objet à l'infini ? Lunette auto-collimatrice et viseur sur goniomètre.
- Sens de la lentille objectif pour le microscope ? On veut être le plus proche des conditions de Gauss pour minimiser les aberrations.
- Il faudrait former l'image de la source sur le centre de la première lentille pour être dans le plus des conditions de Gauss.
- Si on parle d'une grandeur (ici le grossissement), c'est bien de donner une valeur.
- Le diaphragme de champ n'est pas sur l'oculaire mais sur l'image intermédiaire dans le microscope.
- Notion de verre de champ ? Normalement on doit augmenter la luminosité.
- Critère le plus important pour une lunette est le grossissement ? Focale et diamètre de l'objectif ! Car le grossissement peut être gonflé artificiellement avec oculaire de courte focale. Ce qui fait la différence c'est une bonne résolution avec un grand diamètre et la focale de l'objectif (si la focale de l'objectif est grande, on a généralement une petite lunette sur le côté pour aligner et ensuite zoomer).
- Sur les courbes, bien dire ce qu'on trace en fonction de quoi.
- Comment on pourrait faire pour règler l'intensité du faisceau incident ? Polariseur et analyseur pour limiter l'intensité pour le critère de Rayleigh. Pour la lumière blanche, c'est pas très astucieux de regarder le critère de Rayleigh, ou mentionner pourquoi ça n'a pas marché.
- Si on fait des incertitudes, on le fait une fois mais propre.