

Optique géométrique

La plus grande importance sera accordée à la qualité de la présentation et de la rédaction (complète et concise). Tout résultat doit être justifié. Les résultats littéraires doivent être homogènes. Les résultats numériques doivent avoir un nombre de chiffres significatifs vraisemblable.

Certaines questions sont directement en lien avec le contenu du texte *Influence des réglages d'un appareil photographique*, dont la lecture approfondie est donc nécessaire.

I. Photographie de l'expérience de Rüchardt

Pour accéder à une grandeur thermodynamique caractéristique d'un gaz, on mesure la période des oscillations d'une bille en acier dans un tube vertical en verre contenant le gaz. La bille, de diamètre à peine plus petit que celui du tube, peut se déplacer en glissant tout en comprimant ou détendant le gaz emprisonné sous elle. Son mouvement sinusoïdal est d'amplitude $Z_m \approx 10$ cm et de fréquence proche de $f_0 = 1,0$ Hz. On s'intéresse ici à la photographie de ce mouvement.

1. A quelle distance placer l'appareil photo ?

On veut photographier l'ensemble du dispositif expérimental (de hauteur totale $h = 1,0$ m). On utilise un objectif photographique assimilable à une lentille mince convergente de distance focale image $f' = 50$ mm. L'image est enregistrée sur une pellicule photosensible argentique au format carré de largeur $c = 50$ mm.

- a) Pour une lentille convergente de centre O , construire l'image $A'B'$ d'un objet réel transverse AB , A étant placé sur l'axe optique en avant du foyer objet F .
- b) Utiliser cette construction pour démontrer la relation de conjugaison de Newton (avec origine aux foyers F et F') d'une lentille mince et l'expression du grandissement transversal γ .
- c) Dans quel intervalle de distances à F doit-on mettre le dispositif expérimental pour le voir entièrement sur la pellicule? Application numérique.

2. Quel diaphragme utiliser ?

Le dispositif photographié est à la distance $\ell = 1,0$ m de l'objectif. Pour obtenir une photo bien nette, sur laquelle la bille apparaît figée, on estime que la bille ne doit pas se déplacer de plus de $d = 1,0$ mm pendant la durée τ de la prise de vue. D'autre part, la quantité totale de photons atteignant la pellicule doit être à peu près la même quelque soit τ , pour obtenir une photo ni sous-exposée ni surexposée. Pour cela, on ajuste le diamètre D du diaphragme accolé à l'objectif. Par exemple, compte tenu de l'objectif et de la pellicule utilisés et des conditions d'éclairage de l'expérience, un diaphragme $D_0 = 10$ mm doit être associé à une durée d'ouverture de $\tau_0 = 4,0 \times 10^{-3}$ s.

- a) Exprimer la vitesse maximale atteinte par la bille au cours de son mouvement.
- b) En déduire la durée maximale τ_{\max} de la prise de vue pour avoir une photo nette, sans « flou de bouger », en fonction de d , f_0 et Z_m . Faire l'application numérique.
- c) Soit Q la quantité de photons atteignant la pellicule lors d'un cliché. Donner la dépendance fonctionnelle de Q en τ et en D (fonctions puissance à un facteur multiplicateur près). Justifier. En déduire le diamètre D du diaphragme qu'il faut alors utiliser pour obtenir une photo sans flou de bouger si $\tau = \tau_{\max}$. Application numérique.
- d) Exprimer la taille maximale a_{\max} des grains de la pellicule, compte-tenu de la valeur de d .

3. Profondeur de champ

On suppose maintenant que τ et D sont ajustés de telle sorte qu'il n'y ait pas de flou de bouger. La profondeur de champ est l'intervalle de valeurs de la distance objectif-objet tel que les images puissent être considérées nettes sur la pellicule. Le dispositif photographié est toujours à la distance $\ell = 1,0$ m de l'objectif. Les grains de la pellicule ont un diamètre $a = 10 \mu\text{m}$, donc les images les

plus petites ont un diamètre a (petite tache et non un point). Sur la figure en annexe, la pellicule est dans le plan de l'image A' d'un objet A situé à la distance ℓ de l'objectif. La distance focale de l'objectif est toujours $f' = 50$ mm mais l'échelle n'est pas respectée afin que la construction soit lisible. Le diaphragme a pour diamètre $D = 15$ mm. On a tracé le rayon incident A_1I le plus incliné par rapport à l'axe optique, où A_1 est un objet sur l'axe optique différent de A situé à sa droite.

- Tracer sur l'annexe, à rendre avec la copie, la marche du rayon A_1I après l'objectif. Justifier.
- Comme l'image A'_1 de A_1 n'est pas sur la pellicule, on observe sur cette dernière non pas un point mais une tache de rayon r en guise d'image de A_1 . Faire un schéma puis établir l'expression de r en fonction de D , OA'_1 et $A'A'_1$.
- En déduire la distance maximale acceptable AA_1 pour que l'image A'_1 soit vue nette sur la photo. On l'exprimera en fonction de ℓ , D , a et f' . Application numérique.
- Comment est modifiée cette expression si A_1 est situé à gauche de A ? Application numérique.
- Que doit vérifier le tube en verre pour que la photo soit bonne?

II. Influence des réglages d'un appareil photo

- Toutes choses égales par ailleurs, par quel facteur faut-il multiplier l'ouverture numérique pour doubler l'exposition?
- Un photographe désire réaliser une image d'un paysage, avec son ami posant sur la photo au premier plan. Il vise et met-au-point sur le haut d'une colline situé à $d = 200$ m, avec un objectif grand angle de focale 30 mm, ouvert à $f/11$. Son capteur est un CMOS de format 36×24 mm, à 25 Mpixels.
 - On néglige dans un premier temps le phénomène de diffraction par le diaphragme. Evaluer la distance minimale ℓ à laquelle doit se placer le compagnon pour apparaître net sur la photo.
 - La diffraction peut-elle modifier ce résultat? Quel sera son effet sur l'image?
- Un photographe réalise le portrait d'un visage en visant le nez du sujet. En supposant qu'il n'est pas limité par le temps d'exposition, que doit-il choisir comme association focale-ouverture parmi les propositions ci-dessous? Justifier.

i) ($f = 100$ mm, $f/2$) ii) ($f = 100$ mm, $f/11$) iii) ($f = 30$ mm, $f/2$) iv) ($f = 30$ mm, $f/11$)
- Un photographe amateur d'astronomie réalise une image du ciel de nuit. Son appareil plein format avec objectif standard de focale 50 mm et un capteur du même type que précédemment (**2.**) est disposé sur un pied et pointe le ciel selon la direction verticale. Un satellite sur une orbite circulaire à l'altitude $h=5000$ km passe dans le champ du capteur de l'APN. La vitesse angulaire du satellite en mouvement circulaire est donnée par la relation $\omega = \sqrt{\frac{GM_T}{R^3}}$, avec $M_T = 6,0 \times 10^{24}$ kg la masse de la Terre, $G = 6,67 \times 10^{-11}$ m³.s⁻².kg⁻¹ la constante de gravitation universelle, et $R_T = 6380$ km le rayon terrestre. Evaluer la durée maximale τ_M d'ouverture de l'appareil afin d'éviter un « effet de filé » (flou de bouger) pour le satellite.