

Métrologie des Particules

Durée: 1 heure

Tout document et calculatrice autorisés.

1. Pour réaliser une expérience dans un laboratoire, on a besoin d'un faisceau laser de dimension spécifique. On fait passer un faisceau laser de longueur d'onde de $0.5145 \mu\text{m}$ à travers une lentille de focale f . Quelle est la position du col de faisceau émergent dans les deux cas suivants ?
 - (a) Le col du faisceau incident est au foyer objet de la lentille.
 - (b) Le rayon au col du faisceau incident est très grand devant la longueur d'onde ($w_0 \sim 5 \text{ mm}$).

2. Quelles sont les conditions dans lesquelles les modèles suivants s'appliquent?
 - (a) L'optique géométrique.
 - (b) La théorie de Rayleigh.
 - (c) La théorie de Rayleigh-Gans.

3. Une goutte d'eau est éclairée par un faisceau laser de rayon au col (beam waist radius) w_0 très grand devant la taille de la particule. La lumière diffusée par la particule est collectée par une lentille dans un angle $\alpha = 67^\circ$ par rapport à la direction du faisceau incident. On observe l'image dans un plan derrière la lentille. Deux images obtenues à différentes distances de la lentille sont illustrées dans la figure 1. L'intensité de diffusion prédite par l'optique géométrique donnée dans la figure 2 peut être utile pour vous aider à répondre aux questions.
 - (a) Argumenter le choix de l'angle $\alpha = 67^\circ$.
 - (b) Expliquer pourquoi les deux images sont différentes, notamment les deux points très lumineux dans l'image A et les franges dans l'image B.
 - (c) Quelle est l'utilité de ces phénomènes dans la métrologie des particules?

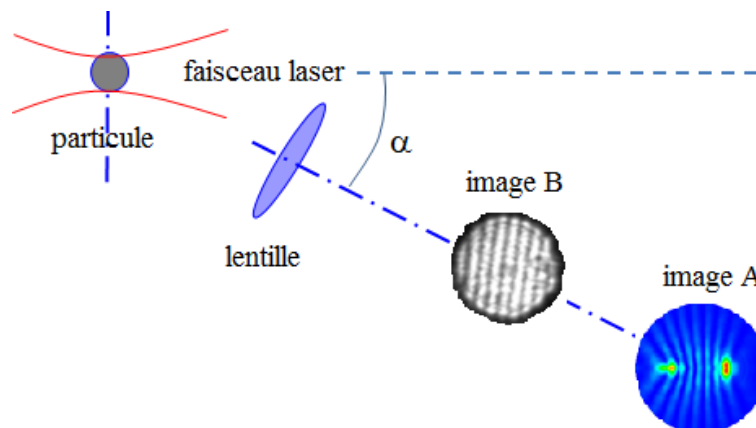


Figure 1. Imagerie hors axe.

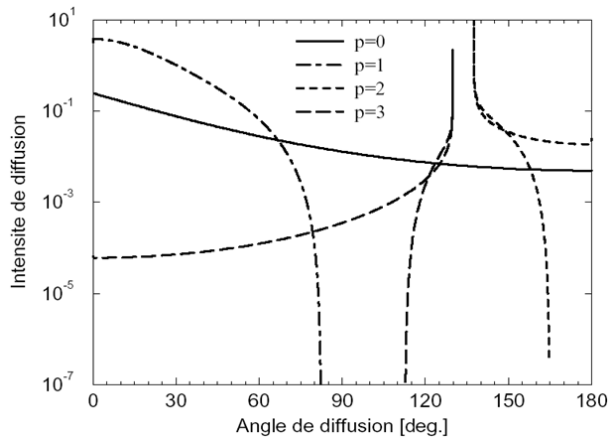


Figure 2. Intensité de diffusion de chaque ordre de rayon prédite par l'optique géométrique.

4. L'anémométrie Phase Doppler (en anglais Phase Doppler Anemometry - PDA) permet de mesurer simultanément la vitesse et la taille d'une particule.

- (a) Décrire brièvement son principe.
- (b) Est-il possible de mesurer la taille d'une particule non-sphérique? Prendre comme exemples une particule homogène de forme sphéroïdale et une particule solide de surface rugueuse et discuter pour les deux configurations: réflexion dominante et réfraction dominante.
- (c) Dans un milieu dense, pour éviter d'avoir plus qu'une particules dans le volume de mesure, le faisceau laser doit être suffisamment petit. Quel problème peut-on avoir dans la configuration classique si le diamètre au col du faisceau est petit devant celui de la particule?

5. La réfractométrie d'arc-en-ciel peut être utilisé à la mesure de la taille, de l'indice de réfraction, voire du gradient de température d'une particule. Pour l'interprétation des mesures la théorie rigoureuse (comme la théorie de Lorenz-Mie) ou la théorie d'Airy est nécessaire. Dans cet exercice on se propose d'étudier simplement son principe dans le cadre de l'optique géométrique.

- (a) Montrer que la déviation d'un rayon lumineux est donnée par:

$$\theta = 2\tau - 2p\tau'$$

où τ et τ' sont respectivement les angles des rayons incident et réfracté par rapport à la tangente de la surface de la sphère. p est l'ordre de réfraction.

- (b) L'arc-en-ciel a lieu dans la condition où l'angle de déviation est minimal ou maximal. Montrer que l'angle d'arc-en-ciel d'ordre $p - 1$ est donné par :

$$\theta = 2\tau - 2p \arccos(\cos \tau / m)$$

et l'angle τ est déterminé par

$$\sin \tau = \left(\frac{m^2 - 1}{p^2 - 1} \right)^{1/2}$$

où m est l'indice de réfraction de la particule.