L'INTENSITÉ ET LA DIFFRACTION DE RADIATION LASER

1. Le but du travail

Le travail étude quelques particularités du faisceau laser et notamment :

1.1. la distribution de l'intensité du faisceau laser sur une de sa section transversale;

1.2. la divergence du faisceau laser;

1.3. la diffraction de la radiation laser sur différent objets(fil mince, réseau bidimensionnelle des fils);

2. Considérations théoriques

2.1. <u>L'étude du faisceau laser</u>; Les faisceaux laser sont cohérents (ont une grande cohérence temporelle et spatiale), intenses, monochromatiques, directionnés.

Ces propriétés peuvent être mesurées le plus facile, dans le cas des faisceaux laser donnés par le laser avec le milieu actif formé par un mélange gazeux He et Ne (le laser He-Ne).

Ce type de laser émette un faisceau continue, rouge, avec la longueur d'onde λ=0.638 µm et avec le pouvoir de 1-5mW.

Si le laser a une longueur plus petite que 20 cm et le diamètre transversal du tube plus petit que 1 mm, alors il émette sur un seule mode dans lequel la distribution d'intensité sur la section transversale de faisceau est de type gaussien.

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{r^2}{\rho^2}\right) \qquad (1)$$

où r est la position radiale du point dans lequel on mesure l'intensité I, ρ est le rayon effectif du faisceau, défini comme la position radiale rapportée au centre du faisceau pour laquelle l'intensité décroisse "e" fois, comparée à l'intensité I_0 du faisceau sur l'axe.

2.2. L'angle de divergence du faisceau laser est mesuré si on détermine le rayon ρ de la tache du faisceau laser sur un écran situé à différentes distances rapporté au bout du laser. (figure 1)

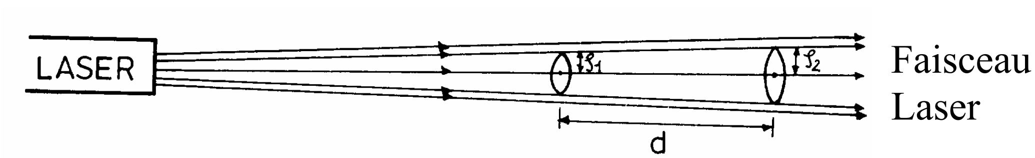

Figure 1

L'angle de divergence θ est calculé avec la relation

$$tg\theta \approx \theta = \frac{\rho_2 - \rho_1}{d}. \qquad (2)$$

La valeur obtenue est exprimée en radians et peut être transformée en dégrées sexagésimales.

2.3. La diffraction du faisceau laser sur un fil. Si $q(x, y)$ est la fonction de transmission d'un objet bidimensionnel situé dans le champ d'un faisceau laser, alors la perturbation dans le plan de mesure (u, v) est donnée par la transformation de Fourier:

$$\Psi(u,v) = C \iint_{(-\infty,+\infty)} q(x,y) \exp[ik(ux + vy)] dxdy \qquad (3)$$

où C est une constante de normalisation; *x, y* sont les coordonnées d'un point quelconque dans le plan de l'objet bidimensionnel; *u* et *v* sont les coordonnées d'un point courant dans le plan de mesure (le plan image).

L'intensité dans un point de mesure est $I = |\Psi|^2$; on peut considérer que la distribution de l'intensité d'un faisceau diffracté d'un objet est donnée par la transformation de Fourier de fonction *q* définie en avant. Par exemple un objet d'étude en forme de fente a la fonction de transmission:

$$q(x) = \begin{cases} 1 & pour \quad x \in [-a, +a] \\ 0 & pour \quad x \in (-\infty, -a) \cup (a, \infty) \end{cases} \qquad (4)$$

où *a* est la largeur de la fente. La distribution de l'intensité obtenue par diffraction sur cette fente est de forme

$$I = |\Psi(u)|^2 = I_0 \frac{\sin^2 \pi X}{\pi^2 X^2}, \qquad (5)$$

où I_0 est l'intensité de faisceau en $X = 0, \Psi(u)$ est la transformation de Fourier de q(x) et

$$X = \frac{a}{\lambda} \sin\varphi, \qquad (6)$$

avec λ la longueur d'onde de la radiation laser utilisée et φ l'angle de diffraction.

La distribution de l'intensité décrite par la formule 5 est représentée dans la figure 2.

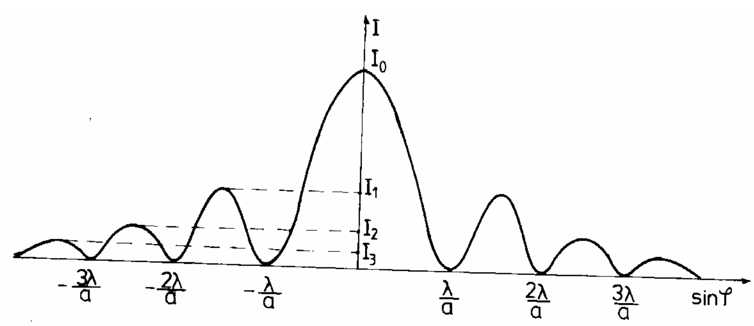

Figure 2

En utilisant la condition d'extremum pour la fonction (5) on obtient maximums de diffraction de l'ordre 1, 2 et 3 si nous avons les conditions:

$$a \sin \varphi_1 = \pm 1{,}43\lambda$$
$$a \sin \varphi_2 = \pm 2{,}46\lambda \qquad (7)$$
$$a \sin \varphi_3 = \pm 3{,}47\lambda$$

De l'équation (5) on obtient pour les valeurs des intensités de maximums de diffraction les relations:

$$I_0 : I_1 : I_2 : \ldots : I_n = 1 : \left(\frac{2}{3\pi}\right)^2 : \left(\frac{2}{5\pi}\right)^2 : \ldots \left(\frac{2}{(2n+1)\pi}\right)^2 = \qquad (8)$$
$$= 1 : 0{,}045 : 0{,}016 : 0{,}0008 \ldots$$

La distribution de l'intensité pour la diffraction sur un fil est pareille à celle obtenue à la diffraction sur une fente en exceptant le point $X = 0$ (on suppose que le fil a le diamètre égal à l'ouverture de la fente).

2.4 La diffraction laser sur un réseau rectangulaire et bidimensionnel. Conformément à la théorie de Fourier, l'intensité de la radiation monochromatique diffractée d'un tel réseau a une distribution dans le plan de mesure (u, v) de type présenté dans le tableau.

Les coordonnées du point de mesure		L'intensité de l'unité relative
u	v	
$\pm\frac{(2n+1)\pi}{2A}$	0	$4\pi^2 / (2n+1)^2$
0	$\pm\frac{(2n+1)\pi}{2B}$	$4\pi^2 / (2m+1)^2$
$\pm\frac{(2n+1)\pi}{2A}$	$\pm\frac{(2n+1)\pi}{2B}$	$16 / (2n+1)^2 (2m+1)^2$

où 4A et 4B sont les dimensions d'un carreau de réseau, *n* et *m* – nombres entiers.

3. Le dispositif expérimental

Sur le banc de travail B il y a un laser à He-Ne alimenté par une source de courant (S_1), une photorésistance (F.R) liée à une source stabilisée de courant continu, une résistance (R) pour laquelle on a le signal montré par le voltmètre (V) et un support (P) pour l'attrapage de la lentille ou des objets (réseau, fil), (figure 3).

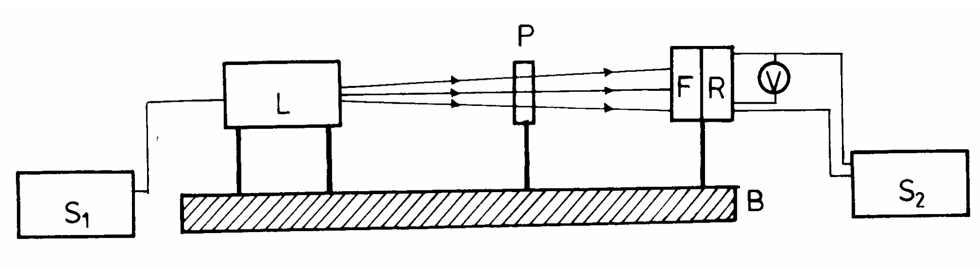

Figure 3

4. Manipulation

4.1) On alimente le laser au réseau de 220V c.a. et on agit le commutateur de la source S_1.

On alimente la photorésistance à la source S_2 avec 20V et on observe la déviation du voltmètre.

4.2) Pour réaliser la correction d'intensité due à la lumière environnante (le fond) on obture le faisceau laser et on lit l'indication du voltmètre.

La valeur obtenue constituera la valeur du fond des radiations lumineux U_g.

4.3) Pour déterminer la distribution d'intensité du faisceau on fixe la lentille devant le faisceau laser pour son expansion et on mesure l'intensité dans différents points du faisceau.

Les mesures seront effectuées de millimètre en millimètre sur l'horizontale et après ça sur la verticale.

On représente sur un graphique la tension mesurée par le voltmètre sur l'horizontale (corrigée avec la valeur de fond) en fonction de la position de la photorésistance sur la direction horizontale et verticale. Les indications du voltmètre sont proportionnelles à l'intensité de radiation incidente sur la photorésistance F. Les deux graphiques représentent la distribution d'intensité dans le faisceau sur les deux directions, horizontale et verticale. Le résultat obtenu va être comparé avec la distribution théorique donnée de l'équation (1) ($\rho = 0,7 r_{\max}$).

4.4) Pour déterminer la divergence du faisceau laser on mesure les coordonnées de deux points situés sur le même diamètre du faisceau laser pour lesquels la tension montrée par le voltmètre est minime (fig. 4) (x_1 et x_1'). On répète l'opération pour une section du faisceau distancée de L (x_2, x_2'). Conformément à la fig.4, l'angle de divergence de faisceau, θ est donné par l'équation.

$$tg\theta \approx \theta = \frac{x_2 - x_1 - x_2' + x_1'}{2L}$$

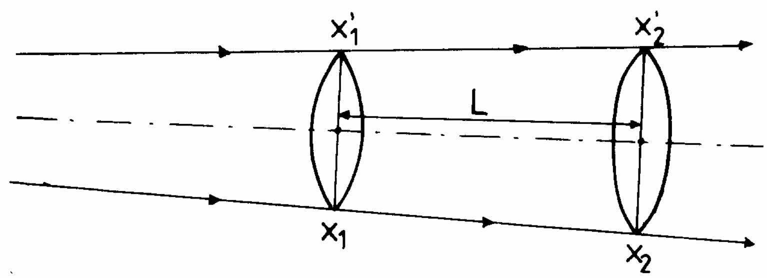

Figure 4

4.5) Pour étudier la distribution spatiale de l'intensité laser diffractée par le fil, on fixe F au bout du banc optique et on met le fil devant le faisceau laser, proche du laser.

L'image de diffraction est observée sur un écran devant la photorésistance ; ça doit être simetrique, avec maxima et minima (fig. 2).

Pour obtenir cette situation on va régler le fil jusqu'à ce qu'il divise le faisceau en deux parties égales. Après l'obtention de l'image de diffraction sur l'écran, on va écarter l'écran et on va déplacer la photo résistance en pas de 1mm. Les tensions lues au voltmètre pour chaque position de la photorésistance sont corrigées de fond et représentées graphique.

Comparez le graphique obtenu avec celui de la figure 2.

Des conditions (7) pour les maximums de diffraction, on déterminera l'épaisseur du fil "a" en connaissant que

$$\sin\varphi_i = \frac{y_i}{L}$$

où y_i est la distance à partir du centre du maximum d'ordre $i = \pm1, \pm2, \pm3 \ldots$ jusqu'au centre du maximum d'ordre zéro; L est la distance entre le fil étudié et le plan de la photorésistance. Les mesures seront faites identiquement pour le deuxième fil. $(\lambda = 0{,}638\mu m)$.

4.6) Pour le réseau bidimensionnel on va mesurer la distribution de l'intensité dans le plan de la photorésistance F et on va comparer les résultats obtenues avec les données du tableau 1. En mesurant les coordonnées x_i, y_i des maximums obtenues de la diffraction sur le réseau on peut déterminer les dimensions A et B du carreau de réseau en utilisant la relation:

$$4A = \frac{\lambda\sqrt{L^2 + y_j^2}}{y_j} \text{ et } 4B = \frac{\lambda\sqrt{L^2 + x_j^2}}{x_j},$$

où L est la distance entre le réseau et la photorésistance et *i, j* montrent l'ordre de maximum mesuré dans les deux directions rectangulaires. On calculera les dimensions des cellules au moins pour 5 maximums et on ferra la moyenne des résultats.

5. Questions:

5.1) Pouvez vous réaliser des images de diffraction laser sur des autres objets personnels?

5.2) Quel est la condition afin que la diffraction laser soit significative pour un objet diffractant?

5.3) Présentez bref quelques applications du diffraction laser dans votre domaine.