

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Ferhat Abbas- Sétif 1
Institut : Optique et Mécanique de Précision
Département : Optique et mécanique de précision
Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Optique et Mécanique de Précision
Spécialité : Optique et Photonique Appliquée

Mémoire de Master

Etude modale des faisceaux Laguerre-Gauss LGpl

Étudié par : BELMENAI Assala
DJEMOUAI Raniya

Dirigé Par : Dr. BOUZID Oussama
Dr. TALLAH Houssam

Devant le jury :

(Président) : Prof. HAMADOU Abdelouahab
(Examineur) : Dr. AZIL Kenza

Soutenue le : 03 /07/2023

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur le laser	
I-1 Introduction.....	2
I-2 Qu'est-ce qu'un laser ?.....	2
I-3 Les cavités résonnantes	3
<i>I-3-1 Les différents types de résonateur.....</i>	3
<i>I-3-2 Modes propres de la cavité.....</i>	4
I-4 Les caractéristiques de la lumière laser	4
I-5 Equation d'onde paraxiale et onde sphérique :	5
I-6 Les faisceaux gaussiens	6
<i>I-6-1 le mode fondamental :</i>	8
<i>I-6-2-1 Les modes Laguerre-Gauss :</i>	8
<i>I-6-2-2 Modes Hermite-Gauss.....</i>	9
Le développement en série pour le polynôme de Laguerre est illustré dans la figure suivante:	10
I-6 Modes Cohérents et partiellement cohérents et incohérents	10
<i>I-6-1 La cohérence temporelle</i>	10
<i>I-6-2 La cohérence spatiale</i>	11
<i>I-6-3 L'incohérence</i>	11
I-7 Profils d'intensités radiales des Modes LG.....	11
I-8 Conclusion	14
Chapitre II: Diffraction des faisceaux lasers LGpl à travers un diaphragme	
II-1 Introduction	15
II-2 Génération des modes Laguerre-Gauss LGpl.....	15
<i>II-2-1 Les modes LGpl.....</i>	15
<i>II-2-2 Les modes LG0l (Donut).....</i>	16
<i>II-2-3 Les modes LGp0.....</i>	16
II-3 Les éléments optiques diffractifs	16
<i>II-3-1 Diaphragme</i>	17
<i>II-3-2 L'anneau opaque</i>	17
II-4 Diffraction d'un faisceau laser à travers une ouverture d'amplitude	18
II-5 Les méthodes de composition modale des faisceaux lasers	20

II-5-1 Méthode de la fente mobile	20
II-5-2 Méthode de la camera CCD	21
II-5-3 L'algorithme de descente de gradient parallèle stochastique (SPGD)	21
II-5-4 Les fibres à cœur creux	22
II-6 Profils d'intensité radiale à travers un diaphragme	23
II-7 Conclusion.....	27
Chapitre III :Transmission des faisceaux d'ordre supérieur	
III-1 Introduction	28
III-2 Mathématica	28
III-3 Transmission des faisceaux d'ordre supérieur.....	29
III-4 Identification du mode maximal existant dans un mélange incohérent.....	30
III-5 Méthode de Fit Levenberg-Marquardt.....	32
III-5-1 la méthode de Gradient-Descent.....	33
III-5-2 la méthode de Newton-Gauss.....	33
III-6 Fit des courbes de la transmission des faisceaux d'ordre supérieur	33
III-7 Conclusion	38
Conclusion générale	39

Liste des figures

Figure I.1 schéma du fonctionnement d'un dispositif laser.....	3
Figure I.2 schéma des types de cavités.	3
Figure I.3: illustration de l'auto-reproduction du faisceau lors de la reflexion sur les miroirs de la cavité,chaque rayon(représenté par les double flèche) est en incidence normale sur les miroirs et est réfléchi sur lui-meme.....	4
Figure I.4 Répartition spatiale de l'énergie dans les modes d'ordre supérieur à symétrie circulaire.	Error! Bookmark not defined.
Figure I.5 Répartition spatiale de l'énergie dans les modes d'ordre supérieur à symétrie rectangulaire	Error! Bookmark not defined.
Figure I.6 Caractéristiques d'un faisceau gaussien	7
Figure I.7 Profil gaussien de l'intensité d'un laser.....	Error! Bookmark not defined.
Figure I.8 Profil d'intensité radial normalisé du mode LG_{00}	11
Figure I.9 Profil d'intensité radial normalisé du mode LG_{01}	12
Figure I.10 Profil d'intensité radial normalisé du mode LG_{02}	12
Figure I.11 Profil d'intensité radial normalisé du mode LG_{10}	12
Figure I.12: Profil d'intensité radial normalisé du mode L_{11}	13
Figure I.13 Profil d'intensité radial normalisé du mode LG_{12}	13
Figure I.14 Profil d'intensité radial normalisé du mode LG_{20}	13
Figure I.15 Profil d'intensité radial normalisé du mode LG_{21}	14
Figure I.16: profil d'intensité radial normalisé du mode LG_{22}	14
Figure II.1 Schéma de génération des modes Laguerre gauss	16
Figure II.2 schéma d'un diaphragme circulaire	17
Figure II.3 Anneau opaque de rayon interne ρA et rayon externe ρB et une largeur h	17
Figure II.4 schéma représente la composition des faisceaux avec une fente mobile	20
Figure II.5 schéma détermine la composition modale d'un faisceau laser avec une camera CCD	21
Figure II.6 schéma illustrant la méthode de l'algorithme(SPGD) utilisé dans la composition modale des faisceaux lasers.	22
Figure II.7 schéma représente la composition modale à travers une fibre optique à cœur creux.	22
Figure II.8 profil d'intensité radiale d'un LG00 à travers un diaphragme de YD=1	23
Figure II.9 profil d'intensité radiale d'un LG01 à travers un diaphragme de YD=1	23

Figure II.10 profil d'intensité radiale d'un LG05 à travers un diaphragme de YD=1	24
Figure II.11 profil d'intensité radiale d'un LG00 à travers un diaphragme de YD=2	24
Figure II.12 profil d'intensité radiale d'un LG01 à travers un Diaphragme de YD=2	24
Figure II.13 profil d'intensité radiale d'un LG05 à travers un diaphragme de YD=2	25
Figure II.14 profil d'intensité radiale d'un LG10 à travers un diaphragme de YD=1	25
Figure II.15 profil d'intensité radiale d'un LG10 à travers un diaphragme de YD=2	25
Figure II.16 profil d'intensité radiale d'un LG50 à travers un diaphragme de YD=1	26
Figure III.1 Programme mathematica	29
Figure III.2:(a) profil d'intensité du mélange de modes LG_{p0} Avec $a_{00}=0,3$; $a_{10}=0,2$; $a_{20}=0,4$; $a_{30}=0,1$; $a_{40}=0$; $a_{50}=0$. (b) : Distribution de la 4 ^{ème} dérivée du profil d'intensité du mélange LG_{p0}	31
Figure III.3(a): profil d'intensité du mode LG_{p0} Avec $a_{00}=0,4$; $a_{10}=0,2$; $a_{20}=0,3$; $a_{30}=0,01$; $a_{40}=0,03$; $a_{50}=0,06$;(b) : Distribution de la 5 ^{ème} dérivée du profil d'intensité du mélange LG_{p0}	31
Figure III.4(a) : profil d'intensité du mode LG_{p0} . Avec $a_{00}=0,2$; $a_{10}=0,2$; $a_{20}=0,2$; $a_{30}=0,2$; $a_{40}=0,2$; $a_{50}=0$; (b) : Distribution de la 5 ^{ème} dérivée du profil d'intensité du mélange LG_{p0}	32
Figure III.5 Diagramme des étapes de Fit des courbes non-linéaires	33
Figure III.6: le programme Mathématique utilisé pour le traçage de profil du mélange	34
Figure III.7 Traçage de profil à l'aide de Logiciel OriginPro 9.0	34
Figure III.8(a), (b), (c), (d) constructeur de fonction d'ajustement	35
Figure III.9(a),(b),(c) vérification de la fonction par OriginPro 9.0 , (d) :application de fit sur la courbe	36
Figure III.10 Fit de la transmission à travers un diaphragme 1 ^{er} cas avec : $a_0=0$; $a_1=0$; $a_2=0,3$; $a_3=0,2$; $a_4=0,45$; $a_5=0,05$	37
Figure III.11 Fit de la transmission à travers un diaphragme 2 ^{ème} cas avec : $a_0=0,1$; $a_1=0,2$; $a_2=0,1$; $a_3=0,2$; $a_4=0,15$; $a_5=0,25$	37
Figure III.12 Fit de la transmission à travers un diaphragme 3 ^{ème} cas avec : $a_0=0,5$; $a_1=0,2$; $a_2=0,1$; $a_3=0,1$; $a_4=0,09$; $a_5=0,01$	38

Liste des tableaux

<i>Tableau II.1:</i> Avantages et inconvénients de la méthode de fente mobile	21
<i>Tableau II.2:</i> les avantages et les inconvénients de la méthode du camera CCD	21
<i>Tableau II.3:</i> Les avantages et les inconvénients de la méthode d'algorithme (SPGD).....	22
<i>Tableau II.4 :</i> Les avantages et les inconvénients de la méthode du fibre optique a cœur creux	23
<i>Tableau III.1 :</i> Tableau des polynômes de Laguerre-Gauss d'ordre p.....	30
<i>Tableau III.2:</i> Tableau de transmission des faisceaux de Laguerre-Gauss d'ordre p.....	30

Résumé

L'étude des modes laser d'ordre supérieur, en particulier le mode Laguerre-Gaussien, apporte de nouvelles perspectives à l'avancement de la science et de la technologie. En exploitant les propriétés uniques de ces modes, nous pouvons développer des techniques plus avancées et acquérir une compréhension plus approfondie de la physique complexe. Ces avancées auront un impact profond sur de nombreux domaines, de la médecine aux communications optiques en passant par l'astronomie, et pourraient susciter de nouvelles découvertes et innovations à l'avenir.

Dans la première partie, nous avons étudié les propriétés de laser, ces modes gaussiens fondamentaux, ainsi que les modes Hermite supérieurs et Laguerre-Gauss, les modes cohérents et incohérents, et tracé les profils d'intensité des modes Laguerre-Gaussiens de type LG_{pl} .

Dans la deuxième partie, nous avons effectué une étude numérique sur les modes Laguerre-Gauss de type LG_{pl} .

Finalement, dans la troisième partie, on a créé les distributions d'intensité du mélange incohérent pour enfin déterminer les coefficients de pondérations et le waist de ce dernier.

Mots clés : Laser, modes Laguerre-Gauss, modes laser incohérents, diffraction, fit des courbes non-linéaires.

Abstract

The study of the higher beams of lasers, in particular the Laguerre-Gauss beams, opens up new prospects for the advancement of science and technology. By exploiting the unique properties of these beams, we will be able to develop more advanced technologies and gain a better understanding of complex physical phenomena. These advances have the potential to have a significant impact in many fields, from medicine to optical communication and astronomy, and to stimulate new discoveries and innovations in the future.

In the first part, we have studied the properties of lasers, their fundamental Gaussian beams and the higher Hermite and Laguerre Gauss modes, coherent and incoherent beams, and we plot the intensity profiles of LG_{pl} type Laguerre Gauss beams.

In the second part, we have created out a numerical study of the Laguerre-Gauss beams of the LG_{pl} type. These beams have been generated and the radial intensity profiles across a diaphragm have been illustrated.

Finally, in the third part, we have represented the intensity distributions of the incoherent mixture to finally determine the weighting coefficients and the waist of the mixture.

Keywords : Laser, Laguerre Gaussian beams, incoherent laser beams, diffraction, non-linear fitting curve

Introduction Générale

Introduction générale

La recherche optique est particulièrement importante à l'ère de la haute technologie, car les laboratoires du monde entier utilisent les lasers comme outil principal.

L'usinage au laser utilise un faisceau laser comme outil pour façonner une pièce. Les applications telles que la découpe laser, le soudage et le marquage de toutes sortes de matériaux sont désormais très répandues.

Depuis sa création, le LASER a joué un rôle important dans un large éventail de technologies, de la recherche fondamentale à la recherche appliquée. L'un des enjeux clés est de contrôler son émission, sa forme gaussienne, sa propagation et sa détection. Cette caractérisation a déjà fait un parcours académique mémorable.

Premièrement, les faisceaux laser ont été décrits par un modèle simple appelé modèle de faisceau gaussien. Cependant, ce modèle ne décrit pas la nature du champ laser, ce qui rend indispensable la création d'un autre modèle mathématique qui le décrit pour la production de lasers puissants. Nous distinguons deux modèles mathématiques utilisés pour décrire ce type de faisceau laser. Il existe des modes supérieurs décrits par des fonctions Hermite-Gauss pour des symétries cartésiennes et des fonctions Laguerre-Gauss pour les symétries cylindriques

Ce mémoire se composera de trois chapitres essentiels :

Le premier chapitre présente des Généralités sur les lasers et une description générale des faisceaux d'Hermite-Gauss et de Laguerre-Gauss, ainsi les caractéristiques du mode fondamental et les profils des modes Laguerre d'un faisceau gaussien, à la fin on a parlé des modes cohérents et incohérents.

Dans le deuxième chapitre, on a fait une étude sur la diffraction des modes Laguerre-Gauss de type LG_{pl} Cependant on a fait une génération des modes Laguerre-Gauss de types LG_{p0} et LG_{0l} à l'aide des propriétés diffractives d'une ouverture d'amplitude après avoir tracé leurs profils d'intensités et voir leurs distributions transversales en champ proche (zone de Fresnel) et en champ lointain (zone de Fraunhofer).

Enfin, dans le dernier chapitre nous abordons l'étude approfondie des profils de transmissions d'un mélange de faisceaux de Laguerre-Gauss, dans un premier lieu on a tracé les profils de transmissions de ce mélange à l'aide des logiciels Mathematica et OriginPro, puis on a concentré sur l'extraction des coefficients de pondérations chaque mode et la détermination du waist qui caractérise la taille minimale des faisceaux.