بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : A-۱۰-۲۵۸۳-۱

اندازه‌گیری تکانه زاویه‌ای مداری پرتوی لاگر-گاوس با استفاده از عدسی کج

عارفه برخوردار[۱]، سعید قوامی صبوری[2]، علیرضا خورسندی[۳]

[۱] دانشکده فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران barkhordar.a@sci.ui.ac.ir

[۲] دانشکده فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران ghavami@sci.ui.ac.ir

[3]دانشکده فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران a.khorsandi@phys.ui.ac.ir

چکیده –پرتوهایی با جبهه موج‌های پیچشی حامل تکانه زاویه‌ای مداری هستند. بسیاری از کاربردهای پرتوهای پیچشی در حوزه-هایی نظیر رمزنگاری کوانتومی، مخابرات، اخترفیزیک و جابه‌جایی داپلر وابسته به اندازه‌گیری تکانه زاویه‌ای مداری این پرتوهاست. در این مقاله، ابتدا پرتوهای لاگر-گاوس به‌عنوان یکی از برجسته‌ترین پرتوهای حامل تکانه زاویه‌ای مداری تولید شد. سپس به کمک یک عدسی کروی دو کوژ کج‌شده، تکانه زاویه‌ای مداری پرتوی لاگر-گاوس موردانداز‌ه‌گیریقرار گرفت.

کلید واژه-تکانه زاویه‌ای مداری، پرتوهای لاگر-گاوس، عدسی کج‌شده.

Measuring Orbital Angular Momentum of Laguerre-Gaussian beam by using tilted lens

Arefeh Barkhordar[1], Saeed Ghavami Sabouri[2], Alireza Khorsandi[3]
[1]Department of Physics, University of Isfahan, Isfahan, Iran barkhordar.a@sci.ui.ac.ir
[2]Department of Physics, University of Isfahan, Isfahan, Iran ghavami@sci.ui.ac.ir
[3]Department of Physics, University of Isfahan, Isfahan, Iran a.khorsandi@phys.ui.ac.ir

Abstract- The beams with vortex wavefrontcarries orbital angular momentum. Many of application of vortices in the field of quantum cryptography, communications, astrophysics and Doppler shift depends on determining orbital angular momentum of these beams. In this paper, first Laguerre-Gaussian beams, as one of the most considering beams that carries orbital angular momentum, was generated. Thenorbital angular momentum of Laguerre-Gaussian beams was measured by a spherical bi-convex tilted lens.

Keywords: Orbital Angular Momentum, Laguerre-Gaussian beams, Tilted lens.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

مقدمه

از نظریه ماکسول برداشت می‌شود که تابش الکترومغناطیسی علاوه بر انرژی، تکانه نیز حمل می‌کند. هر برهمکنشی میان تابش و ماده به‌ناچار با تغییر در تکانه همراه است. تکانه دو سهم خطی و زاویه‌ای دارد که سهم زاویه‌ای، خود نیز شامل سهم اسپینی همراه با قطبش و سهم مداری همراه با ساختار دامنه‌ای و فازی نور است.پرتوهای لاگر-گاوس حامل تکانه زاویه‌ای مداری خوش‌تعریفی برابر با$l\hbar$هستند که l شاخصه مدهای سمتی همان ویژه‌مقدار تکانه زاویه‌ای مداری و مرتبه تابع لاگر است.

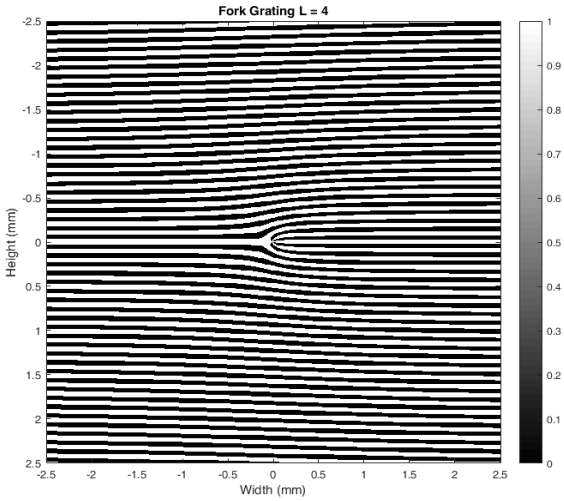
تولید پرتوهای لاگر-گاوس معمولاً با استفاده از یک جفت عدسی استوانه‌ای[۱]، تیغه فازی حلزونی (SPP)[۲] و مدولاتورهای فضایی نور (SLMs)[۳]انجام می‌شود. مدولاتورهای فضایی نور به این دلیل که قابلیت تغییر المان‌های پراشی را دارند، از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و کاربردی‌ترند. در این پژوهش به کمک یک مدولاتور فضایی دامنه‌ای نور با استفاده از طرح چنگالی، توابع لاگر-گاوس با اندازه حرکت زاویه‌ای متفاوت تولید شد. سپس برای اندازه‌گیری آن به کمک یک عدسی کج و تحلیل نمایه پرتوی عبوری از عدسی کج موفق به اندازه‌گیری تکانه زاویه‌ای مداری نور شدیم.

تولید پرتوی لاگر-گاوس

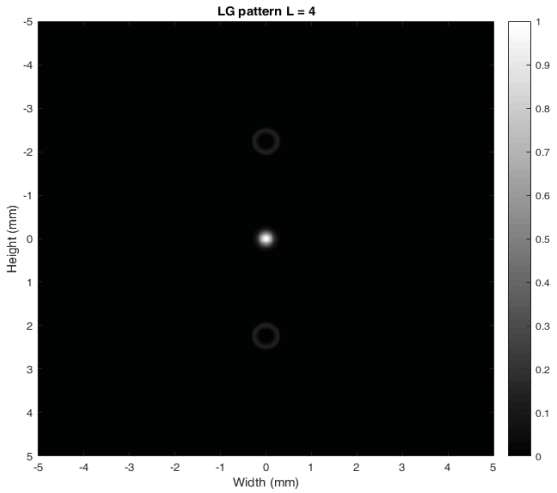
در تولید پرتوهای لاگر-گاوس با استفاده از مدولاتور فضایی نور، پرتوی نور با تابش به مدولاتوری که توری پراش چنگالی بر روی آن نقش بسته استپراش می-یابد.توری پراش چنگالی با معادله (۱) تعریف می‌شود که تابش موج تخت به طرح چنگالی با $l+1$ شاخه، سبب تولید پرتوهای لاگر-گاوس با تکانه زاویه‌ای مداریlمی-شود. معادله (۱) بدین شرح است:

$$A=\left|e^{iPx}+e^{il\theta}\right|^2$$

که در آنAتابع توری چنگالی، Pدوره تناوب شاخه‌های چنگال،xمختصه مدولاتور، lویژه‌مقدار تکانه زاویه‌ای مداری که به آن بار توپولوژی نیز گفته می‌شود وθزاویه سمتی در دستگاه مختصات استوانه‌ای است.به‌عنوان‌مثال در شکل ۱ توری چنگالی با $l=4$ در نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی و در شکل ۲ با حل عددی انتگرال فرنل طرح حاصل از این توری تولید گردیده است.



شکل ۱: توری پراش چنگالی با مرتبه ۴



شکل ۲: طرح پراش حاصل از توری پراش چنگالی که شامل یک مد LG_0^0، یک مد LG_0^{+4} و یک مد LG_0^{-4} است.

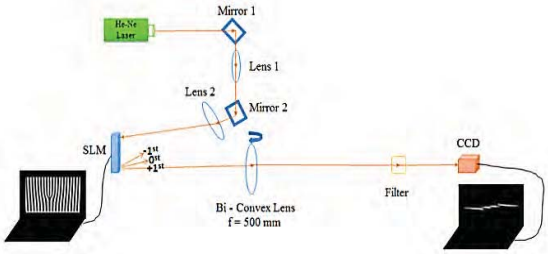
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

در طرح پراش، فریز مرکزی ازلحاظ مرتبه‌ی تکینگی فاز وپیچش جبهه موج همانند پرتو نور فرودی است. درصورتی‌که نور فرودی، پرتوی لاگر-گاوس مرتبه Lباشد (که به‌صورت LG_p^L نوشته می‌شود و L و p به ترتیب اندیس مدهای سمتی و شعاعی پرتوی لاگر-گاوس است)، فریزهای مرتبه اول پرتو لاگر-گاوس با مد $L+(l\pm p)$ هستند ($LG_p^{L+(l\pm p)}$) که lهمان بار توپولوژی توری چنگالی است. به‌طورکلی مرتبه‌های پراش به‌صورت پرتوهای لاگر-گاوس با مد $L+(l+mp)$بهنمایش درمی‌آیند ($LG_p^{L+(l+mp)}$) که m بیانگر عدد مرتبه پراش بوده و طرح پراش مراتب بالاتر، شدت پایین‌تری دارند[۴]. با تغییر l، شعاع حلقه‌های پرتو لاگر-گاوس به‌صورت $\sqrt{l}$ تغییر می‌کنند[۵].استفاده از المان‌های پراشی برای تولید پرتوهایلاگر-گاوس این امکان را فراهم می‌سازد تا به شکل برخط و پویا با توجه به نیاز اندازه حرکت زاویه‌ای حمل شده توسط پرتو را تغییر داد.

چیدمان آزمایشگاهی اندازه‌گیری تکانه زاویه‌ای مداری پرتوی لاگر-گاوس

یکی از روش‌های اندازه‌گیری مقدار تکانه زاویه‌ای مداری در پرتوهای لاگر-گاوس استفاده از عدسی کج‌شده است[۶].عدسی کج‌شده با ایجاد دو فاصله‌ی کانونی متفاوت در راستای x و y همانند دو عدسی آستیگماتیک عمل کرده و سبب تغییر در فاز گای پرتو لاگر-گاوس می‌گردد. بدین ترتیب می‌توان یک حلقه از پرتو لاگر-گاوس را به‌صورت لکه‌های تاریک و روشن مشاهده کرد که تعداد لکه‌های تاریک بیانگر مرتبه بار توپولوژی است.

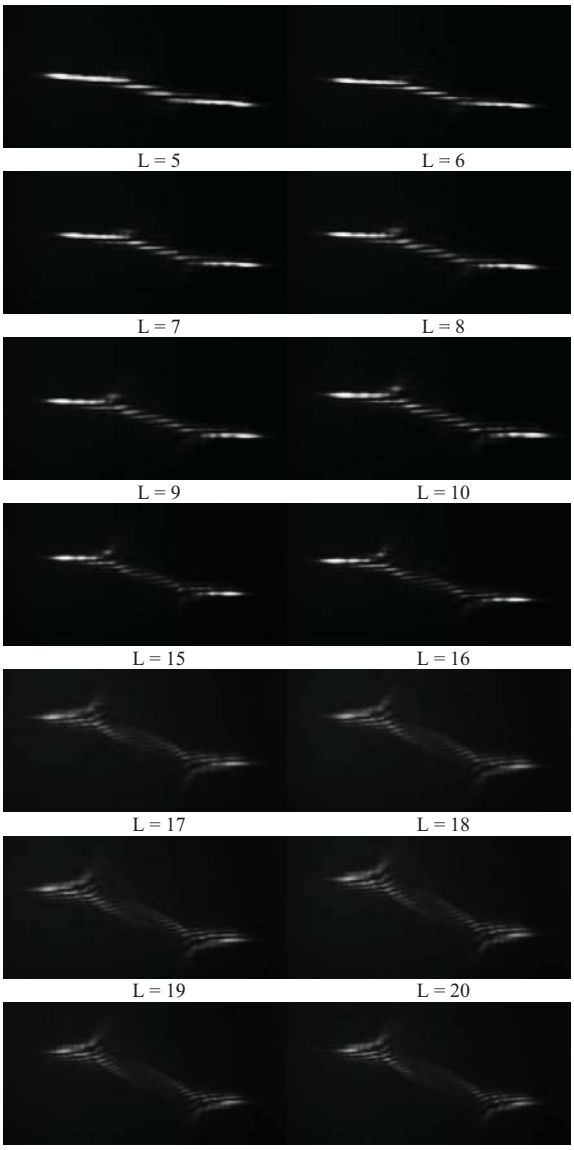
به‌منظور تولید و اندازه‌گیری تکانه زاویه‌ای مداری ابتدا پرتوی گاوسی لیزر به مدولاتور فضایی نورتابیده و پس از پراش از توری پراش چنگالی، از یک عدسی دو کوژ کج‌شده بافاصله کانونی ۵۰۰ میلی‌متر عبور داده شد. طرح کانونی‌شده در فاصله حدود ۱۱۰ سانتی‌متری از عدسی به دست آمد. با چرخاندن عدسی در حدود ۵۰ درجه حول محور y حلقه‌ها به‌صورت طرح‌های تاریک و روشن درآمدند که نتایج حاصل از یک حلقه‌ی لاگر-گاوس در ادامه ذکرشده است.چیدمان آزمایشگاهی مورداستفادهدر این آزمایش برای تولید المان‌های پراشی تولیدکننده پرتوهای لاگر-گاوس و هم‌چنین سامانه‌ی اندازه‌گیری آن در شکل ۳ به نمایش درآمده است.در این چیدمان از لیزر هلیوم – نئون با طول‌موج 632/8نانومتر به‌عنوان منبع لیزری، از آینه‌های ۱ و ۲ جهت هدایت پرتو به مدولاتور و از عدسی ۱ و ۲ جهت کانونی کردن پرتو بر روی مدولاتور استفاده‌شده است. پس از پراش پرتو توسط توری پراش چنگالی، یکی از مدهای پراش به عدسی دو کوژ چرخان برخورد کرده و به دوربین آشکارساز می‌رسد.



شکل ۳: چیدمان برپاشده جهت تولید و اندازه‌گیری تکانه زاویه‌ای مداری پرتوهای لاگر – گاوس

آشکارساز مورداستفاده در این آزمایش از نوعCCD (مدلDMK 23U274 Monochrome) بوده و تصاویر با دقت ۱۶۰۰×۱۲۰۰ پیکسل برداشت شدند.در شکل ۴ طرح نمایه ثبت‌شده شدت عدسی کج‌شده برای المان‌های پراشی با تکانه زاویه‌ای مداری$L = 1, 2, \ldots, 10$ و هم-چنین $L = 15, 16, \ldots, 20$ نمایش داده‌شده است.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.



شکل ۴: نتایج تجربی پرتوی لاگر-گاوس عبوری از عدسی دو کوژ کج‌شده

مبنای تبدیل پرتوهای لاگر-گاوس به لکه‌های نشان داده‌شده در شکل ۴ به این دلیل است که فواصل کانونی متفاوت در راستای x و y به وجود می‌آید و منجر به ایجاد یک فاز در میدان پرتو شده و جملات هرمیتی را در آن پدیدار می‌کند[۶]. این جملات نمایه شدت پرتو را از حلقه‌های لاگر-گاوس به لکه‌های تاریک و روشن هرمیت-گاوس مبدل می‌سازند. با شمردن مناطق تاریک قرارگرفته در شکل ۴ بار توپولوژی به‌راحتی قابل‌تعیین است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از یک مدولاتور فضایی دامنه‌ای نور و به کمک توری چنگالی پرتوهای لاگر-گاوس با تکانه‌های زاویه‌ای مداری L = 1, 2, …, 10 و L = 15, 16, …, 20 تولید شد و با استفاده از روش عدسی کج میزان تکانه این مدها اندازه‌گیری گردید. نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهد روش عدسی کج با دقت قابل قبولی توانایی تخمین تکانه زاویه‌ای مداری پرتوهای لاگر-گاوس را دارد.

مرجع‌ها

[1] M. Padgett, J. Arlt, N. Simpson, and L. Allen, “An experiment to observe the intensity and phase structure of Laguerre–Gaussian laser modes”,American Journal of Physics,vol. 64, no. 1, pp. 77-82, 1996.

[2] M. W. Beijersbergen, R. P. C. Coerwinkel, M. Kristensen, and J. P. Woerdman, “Helical-wavefront laser beams produced with a spiral phaseplate”,Optics Communications,vol. 112, no. 5-6, pp. 321-327, 1994.

[3] Y. Ohtake, T. Ando, N. Fukuchi, N. Matsumoto, H. Ito, and T. Hara, “Universal generation of higher-order multiringed Laguerre-Gaussian beams by using a spatial light modulator”, Optics letters,vol. 32, no. 11, pp. 1411-1413, 2007.

[4] L. Stoyanov, S. Topuzoski, I. Stefanov, L. Janicijevic, and A. Dreischuh, “Far field diffraction of an optical vortex beam by a fork-shaped grating”,Optics Communications,vol. 350, pp. 301-308, 2015.

[5] S. Chen, Y. Cai, G. Li, S. Zhang, and K. W. Cheah, “Geometric metasurface fork gratings for vortex-beam generation and manipulation”,Laser & Photonics Reviews,vol. 10, no. 2, pp. 322-326, 2016.

[6] P. Vaity, J. Banerji, and R. Singh, “Measuring the topological charge of an optical vortex by using a tilted convex lens”,Physics letters a,vol. 377, no. 15, pp. 1154-1156, 2013.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.