



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 : ۸-۲-۲۲۰-۱۰-A

مطالعه جابه‌جایی کانونی پرتوهای لورنتس-گوس گذرنده از یک سامانه متمرکز کننده روزنه‌ای

امیرحسین زارعیان، غلامرضا هنرآسا و مهدی بهادران

a.zareian@sutech.ac.ir, Honarasa@sutech.ac.ir, bahadoran@sutech.ac.ir

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

چکیده-در این مقاله با استفاده از انتگرال کالینز به بررسی نحوه انتشار پرتوهای لورنتس-گوس در یک سامانه اپتیکی شامل یک روزنه دایروی و یک عدسی پرداخته شده است. سپس با استفاده از شدت محوری، جابه‌جایی کانونی و تاثیر عوامل جدایی بین روزنه و عدسی و شعاع روزنه بر جابه‌جایی کانونی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش شعاع روزنه دایروی، جابه‌جایی کانونی کاهش می‌یابد.

کلید واژه- انتگرال کالینز، پرتوهای لورنتس-گوس، جابه‌جایی کانونی

Focal Shift Study for Lorentz-Gauss Beams Passing Through an Apertured Focusing System

AmirHossein Zareian, Gholamreza Honarasa, and Mahdi Bahadoran

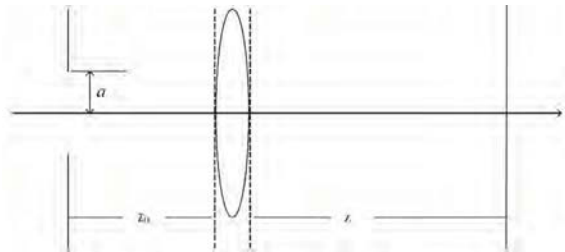
Department of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran.

Abstract- In this paper propagation of a Lorentz-Gauss beam passing through a circular aperture and a lens is discussed by using Collins integral. With the aid of axial intensity, the Focal Shift and effect of aperture-lens separation and radius of aperture have been studied. The results show that Focal Shift decreases with the increasing values of radius of aperture.

Keywords: Collins Integral, Focal Shift, Lorentz-Gauss beams

$$E(x_0, y_0, 0) = \frac{E_0}{\omega_x \omega_y} \frac{1}{[1 + (x_0/\omega_x)^2][1 + (y_0/\omega_y)^2]} \times \exp\left(-\frac{x_0^2 + y_0^2}{\omega_0^2}\right) \quad (1)$$

که در آن ω_x و ω_y پارامترهای مرتبط با پهنای بخش لورنتس پرتو در راستای x و y هستند. ω_0 پارامتر کمر پرتو در بخش گاوسی و E_0 یک ثابت است. سامانه اپتیکی شامل یک روزنه دایروی به شعاع a و یک عدسی نازک با فاصله کانونی f به صورت شکل ۱ در نظر گرفته شد.



شکل ۱: سامانه اپتیکی

برای توصیف انتشار پرتو لورنتس-گاوس در سامانه نوری ذکر شده از فرمول بندی انتگرال کالینز در مختصات دکارتی استفاده می‌کنیم [۱۰].

$$E(x, y, z) = \frac{i}{\lambda B} \int_{-a}^a \int_{-a}^a E(x_0, y_0, 0) \times \exp\left\{-\frac{ik}{2B}[A(x_0^2 + y_0^2) - 2(xx_0 + yy_0) + D(x^2 + y^2)]\right\} dx_0 dy_0 \quad (2)$$

که در آن $E(x_0, y_0, 0)$ توزیع میدان پرتو لورنتس-گاوس ورودی است و از رابطه (۱) جایگزین می‌شود. A ، B و D عناصر ماتریس انتقال سامانه اپتیکی هستند. $k = 2\pi/\lambda$ عدد موج و λ طول موج است. محور z به عنوان راستای

مقدمه

پرتوهای لورنتس-گاوس به عنوان حالت کلی‌تر پرتوهای لورنتس معرفی شدند [۱]. پرتوهای لورنتس-گاوس می‌توانند تابش خروجی از یک لیزر دایود تک مد را توصیف نمایند [۲]. در حالت کلی، پرتو لورنتس-گاوس به دلیل گسترش زاویه‌ای بالاتر نسبت به پرتو گاوسی، مدل مناسبی برای توصیف منابع لیزری فراهم می‌کند [۳]. تاکنون انتشار پرتوهای لورنتس-گاوس در بسیاری از محیط‌های اپتیکی مانند اتمسفر متلاطم، بلورهای تک محوری و محیط‌های غیر خطی غیرموضعی قوی مورد بررسی قرار گرفته است [۴-۶]. با مطالعه ویژگی‌های تمرکز نور مشخص شده که مکان بیشینه شدت محوری بر کانون هندسی منطبق نیست. این پدیده را جابه‌جایی کانونی می‌نامند که بسیار مورد توجه قرار دارد. گائو و همکاران به بررسی جابه‌جایی کانونی در پرتو توخالی گاوسی با قطبش شعاعی پرداختند [۷]. جابه‌جایی کانونی در پرتو برداری لاگر-گاوس با قطبش هایبرید توسط چن و همکاران در سال ۲۰۱۸ انجام شد [۸]. سان و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی انتشار پرتو گاوسی در ساختار نوری شامل روزنه و عدسی نازک پرداختند و تغییر فاصله کانونی را برای این سیستم مطالعه کردند [۹]. در این مقاله ابتدا به بررسی انتشار پرتو لورنتس-گاوس در یک سامانه اپتیکی با استفاده از انتگرال کالینز و سپس بررسی جابه‌جایی کانونی در آن سامانه پرداخته می‌شود.

انتشار پرتو لورنتس-گاوس در سامانه متمرکز

کننده روزنه‌ای

توزیع میدان پرتو لورنتس-گاوس در صفحه $z = 0$ به شکل زیر توصیف می‌شود [۱]:

(۷) انتشار در نظر گرفته شده است. ماتریس ABCD انتقال سامانه نوری به صورت زیر است.

$$I(0, z) = |E(0, 0, z)|^2 = \frac{\omega_x^2 \omega_y^2}{(\omega_x^2 + a^2)(\omega_y^2 + a^2)^2} \times \frac{1}{A'A''} \left\{ \operatorname{erfi} \left[(-1)^{1/4} \sqrt{\frac{kA'a^2}{2B}} \right] \right\}^2 \times \left\{ \operatorname{erfi} \left[(-1)^{-1/4} \sqrt{\frac{kA''a^2}{2B}} \right] \right\}^2$$

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{f-z}{f} & \frac{fz_0 + fz - zz_0}{f} \\ -1 & \frac{f-z_0}{f} \end{pmatrix} \quad (۳)$$

با جایگزینی روابط (۱) و (۳) در رابطه (۲) توزیع میدان در صفحه نمایش به صورت زیر بدست خواهد آمد:

$$E(x, y, z) = \frac{iE_0}{\lambda B} E(x_0) E(y_0) \quad (۴)$$

که $E(x_0)$ و $E(y_0)$ از رابطه زیر بدست می‌آیند:

$$E(j_0) = \omega_j \exp \left[-\frac{ikDj^2}{2B} \right] \exp \left[\frac{ikj^2}{2BA'} \right] \frac{(-1)^{3/4}}{2(\omega_j^2 + a^2)} \times \sqrt{\frac{2\pi B}{kA'}} \left\{ \operatorname{erfi} \left[\sqrt[4]{-1} \sqrt{\frac{kA'}{2B}} \left(a - \frac{j}{A'} \right) \right] - \operatorname{erfi} \left[\sqrt[4]{-1} \sqrt{\frac{kA'}{2B}} \left(-a - \frac{j}{A'} \right) \right] \right\} \quad (۵)$$

که در آن $a, j = x \text{ or } y$ شعاع روزنه، erfi تابع خطای موهومی و A' به شکل زیر تعریف شده است:

$$A' = A - \frac{2iB}{k\omega_0^2} \quad (۶)$$

جابه‌جایی کانونی

در راستای بررسی پدیده جابه‌جایی کانونی، با صفر قرار دادن مولفه‌های x و y در معادله توزیع میدان پرتو لورنتس-گوس (رابطه ۴) می‌توان توزیع میدان و شدت در راستای انتشار را به صورت زیر بدست آورد.

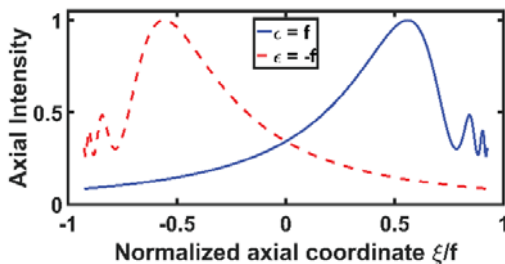
$$E(0, 0, z) = \frac{\omega_x \omega_y}{(\omega_x^2 + a^2)(\omega_y^2 + a^2)} \frac{1}{A'} \times \operatorname{erfi} \left[(-1)^{1/4} \sqrt{\frac{kA'a^2}{2B}} \right]^2$$

$$A'' = A + \frac{2iB}{k\omega_0^2} \quad (۹)$$

با دیفرانسیل‌گیری از رابطه شدت محوری و بررسی صفرهای آن می‌توان مکان بیشینه شدت محوری را بدست آورد که نشان دهنده جابه‌جایی کانونی است.

نتایج و محاسبات

برای انجام محاسبات پارامتر $\varepsilon = z_0 - f$ که معرف جدایی بین عدسی و روزنه و پارامتر $\xi = z - f$ که نشان دهنده مختصه محوری است را تعریف می‌کنیم. با رسم شدت محوری در شکل ۲ به عنوان تابعی از ξ و ε مشاهده می‌شود که شدت محوری نسبت به کانون متقارن است.



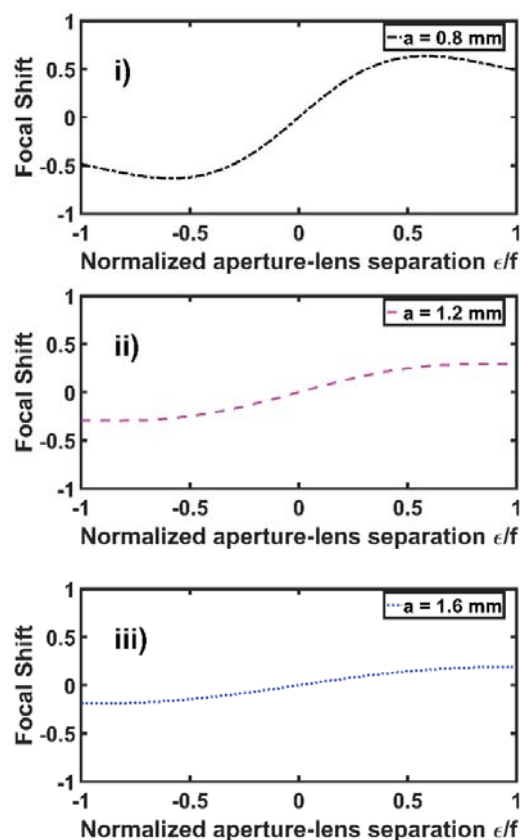
شکل ۲: نمودار شدت محوری بر حسب مختصه محوری برای $\varepsilon = f$ و $\varepsilon = -f$

شد. همچنین با بررسی شدت محوری پرتو، جابه‌جایی کانونی به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد با تغییر فاصله بین روزنه و عدسی کانون می‌تواند به عدسی نزدیک یا دور شود و با افزایش شعاع روزنه، جابه‌جایی کانونی کاهش می‌یابد.

مرجع‌ها

- [1] O. El Gawhary and S. Severini, "Lorentz beams and symmetry properties in paraxial optics," *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, vol. 8, p. 409, 2006.
- [2] J. Yang, T. Chen, G. Ding, and X. Yuan, "Focusing of diode laser beams: a partially coherent Lorentz model," in *Semiconductor Lasers and Applications III*, 2008, p. 68240A.
- [3] A. Naqwi and F. Durst, "Focusing of diode laser beams: a simple mathematical model," *Applied optics*, vol. 29, pp. 1780-1785, 1990.
- [4] A. Keshavarz and G. Honarasa, "Propagation of Lorentz—Gaussian beams in strongly nonlocal nonlinear media," *Communications in Theoretical Physics*, vol. 61, p. 241, 2014.
- [5] C. Zhao and Y. Cai, "Paraxial propagation of Lorentz and Lorentz—Gauss beams in uniaxial crystals orthogonal to the optical axis," *Journal of Modern Optics*, vol. 57, pp. 375-384, 2010.
- [6] G. Zhou and X. Chu, "Average intensity and spreading of a Lorentz-Gauss beam in turbulent atmosphere," *Optics express*, vol. 18, pp. 726-731, 2010.
- [7] X. Gao, M. Gao, Q. Zhan, J. Li, H. Guo, J. Wang, *et al.*, "Focal shift in radially polarized hollow Gaussian beam," *Optik*, vol. 122, pp. 671-676, 2011.
- [8] Y. Chen, S. Huang, M. Chen, and X. Liu, "Focal shift in tightly focused hybridly polarized Laguerre—Gaussian vector beams with zero radial index," *JOSA A*, vol. 35, pp. 1585-1591, 2018.
- [9] P. Sun, J. Liu, J. Guan, G. Wang, and Y. Yu, "Propagation equation of Gaussian beams through apertured focusing systems and parametric study of focal shift," *JOSA A*, vol. 36, pp. 818-825, 2019.
- [10] S. A. Collins, "Lens-system diffraction integral written in terms of matrix optics," *JOSA*, vol. 60, pp. 1168-1177, 1970.

با رسم بیشینه شدت محوری، اثر جدایی بین عدسی و روزنه و شعاع روزنه بر جابه‌جایی کانونی تعیین می‌شود. در شکل ۳ جابه‌جایی کانونی برحسب فاصله بین روزنه و عدسی به ازای شعاع روزنه‌های متفاوت رسم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود برای جدایی روزنه-عدسی مثبت، جابه‌جایی کانونی مثبت است و نشان می‌دهد کانون از عدسی دور می‌شود و برای جدایی روزنه-عدسی منفی، جابه‌جایی کانونی منفی و کانون به عدسی نزدیک می‌شود. همچنین با افزایش شعاع روزنه جابه‌جایی کانونی کاهش می‌یابد.



شکل ۳: نمودار جابه‌جایی کانونی بر حسب جدایی بین روزنه و عدسی برای شعاع روزنه‌های متفاوت

نتیجه‌گیری

دراین تحقیق توزیع میدان پرتو لورنتس-گوس در ساختار متمرکز کننده روزنه‌ای به وسیله انتگرال کالینز محاسبه