بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

انتشار پرتوهای کارتزین در محیط عدسی گرمایی به روش ماتریس ABCD

زهرا فرمانی، غلامرضا هنرآسا و علیرضا کشاورز

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز

چکیده – در این مقاله انتشار پرتوهای کارتزین در محیط‌های عدسی گرمایی با استفاده از روش ماتریس ABCD بررسی می‌شود و بر مبنای آن، انتشار پرتو کارتزین در این محیط‌ها شبیه سازی می‌شود. سپس پهنای پرتو و شعاع انحنای پرتو در حین انتشار مورد بحث قرار می‌گیرد.

کلید واژه- پرتو کارتزین، روش ماتریس ABCD، محیط عدسی گرمایی.

Propagation of Cartesian Beams in a Thermal Lens Medium by ABCD Matrix Method

Zahra Farmani, Gholamreza Honarasa, Alireza Keshavarz

Department of Physics, Faculty of Science, Shiraz University of Technology, Shiraz

Abstract- In this paper propagation of Cartesian beams in thermal lens medium is investigated by ABCD matrix method and based on it, the propagation of Cartesian beams in a thermal lens medium are analyzed. Then beam width and curvature radius during propagation are discussed.

Keywords: Caresian Beams, ABCD matrix metod, Thermal lens medium.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]

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

۱- مقدمه

پرتوهای کارتزین به‌عنوان یک حل عمومی و جدید پرتوهای اپتیکی معرفی می‌شود. دامنه مختلط پرتوهای کارتزین به‌عنوان توابع استوانه سهموی یا توابع فوق هندسی همشار توصیف می‌شود و پرتوها به‌وسیله سه پارامتر مختلط مشخص می‌شوند. برای مقادیر خاص پارامترهای پرتو، پرتوهای کارتزین به بسیاری از حل‌های شناخته شده از قبیل پرتوهای هرمیت-گاوس، کسینوس گاوس، کسینوس هایپرپولیک گاوس، پرتوهای لورنتس و ... تبدیل می‌شود [۱و۲].

در لیزرها مقداری از انرژی ورودی به پرتو لیزری تبدیل نمی‌شود بلکه به انرژی گرمایی غیر قابل استفاده تبدیل می‌شود. در هنگام دمش ماده فعال لیزری گرم می‌شود و گرما تغییراتی در ضریب شکست بلور ایجاد می‌کند، و ضریب شکست نقاط مختلف بلور متفاوت می‌گردد. بنابراین این گرما باعث پایین آمدن کیفیت پرتو خروجی و اعوجاج در پرتو خروجی می‌شود [۳] . از این رو تلاش برای بهبود کیفیت توان خروجی لیزری بسیار مهم است. بنابراین است که انتشار پرتوهای مختلف از جمله پرتو کارتزین در محیط‌های عدسی گرمایی مورد مطالعه قرار گیرد. در این مقاله، با استفاده از ماتریس انتقال برای محیط عدسی گرمایی، انتشار پرتو کارتزین در این گونه محیط‌ها شبیه‌سازی می‌شود.

۲- پرتوهای کارتزین

پرتوهای کارتزین بر حسب تابع فوق هندسی همشار به صورت زیر توصیف می‌شود [۴]:

$$U_\beta(x;p,q)=\zeta_\beta(Px^2)^{(t-1/2)/2} \times F_1(\beta,t;Px^2)\exp(\frac{ikx^2}{2q}) \qquad (۱)$$

که این پرتو با سه پارامتر (p,q,β) که در حالت کلی مختلط هستند، مشخص می‌شود. مقدار فاکتور پاریته t برای پرتوهای زوج برابر ۱/۲ و برای پرتوهای فرد ۳/۲ است. در رابطه (۱)، K عدد موج و

$$P=P(p,q)\equiv\frac{ik}{2}(\frac{1}{p}-\frac{1}{q}) \qquad (۲)$$

است. در این‌جا پارامترهای مختلط p,q از صفحه ورودی z=0 به صفحه خروجی z از طریق سیستم اپتیکی ABCD مختلط یا حقیقی دلخواه با استفاده از قانون تبدیل زیر انتشار می‌یابند:

$$p=\frac{Ap_0+B}{Cp_0+D},\qquad q=\frac{Aq_{0+}B}{Cq_0+B} \qquad (۳)$$

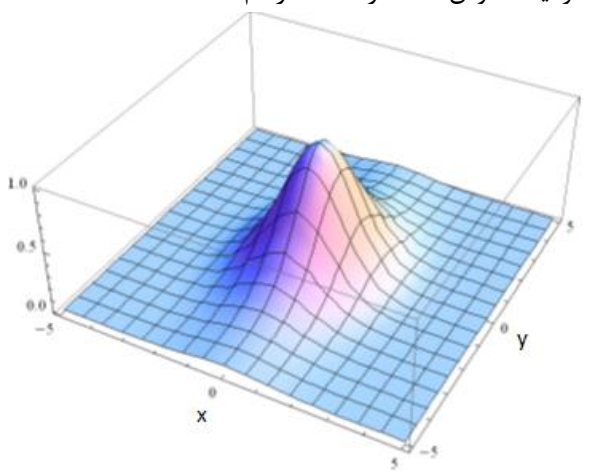
در رابطه (۱) فاکتور مقیاس ζ_β از انتشار باریکه می‌آید و برابر است با:

$$\zeta_\beta=\frac{(A+B/q_0)^{\beta-(t+1/2)/2}}{(A+B/p_0)^{\beta-(t-1/2)/2}} \qquad (۴)$$

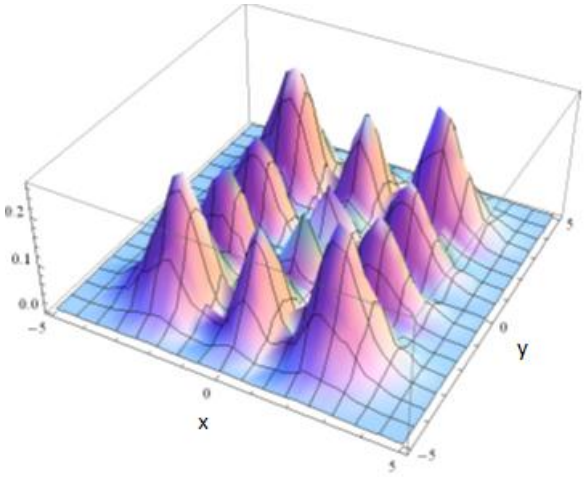
معادله (۱) همراه با معادلات (۲) تا (۴)، انتشار پرتوهای کارتزین را در هر سیستم اپتیکی با ماتریس ABCD مشخص می‌کند.

پرتوهای کارتزین امکان یافتن ترکیب‌های پرتو جالب و جدید را پیشنهاد می‌کند. به عنوان نمونه پرتوهای لورنتس با جایگذاری پارامترهای پرتوهای کارتزین در صفحه $z=0$ به ازای $p=-\mathrm{iz_R}$ ، $q=\infty$ ، $\beta_x=0.5$ و $\beta_y=0.3$ و پرتوهای هرمیت-گاوس استاندارد با جایگذاری پارامترهای پرتوهای کارتزین در صفحه $z=0$ به ازای $p=\mathrm{iz_R}$ ، $\mathrm{q}=-iz_R$ ، $\beta_x=-1$ و $\beta_y=-1$ که $z_R=4\pi/\lambda$ به‌دست می‌آیند.

در شکل ۱ نمودار شدت پرتوهای کارتزین (که با توجه به پارامترهای پرتو کارتزین، یک پرتو لورنتس و یک پرتو هرمیت-گاوس استاندارد است) رسم شده است.



[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]



شکل ۱: شدت پرتو کارتزین در z=0 به ازای الف) برای $p=-iz_R$ ، $q=\infty$ ، $\beta_x=0.5$ و $\beta_y=0.3$ ب) برای $p=iz_R$ ، $q=-iz_R$ ، $\beta_x=-1$ و $\beta_y=-1$.

بر اساس تعریف ممان مرتبه دو، برای پهنای پرتو کارتزین در محل کمر پرتو (z=0) داریم [۵]:

$$w_1^2=4\frac{\int_{-\infty}^{\infty}x^2\left|U_\beta(x,p,q)\right|^2dx}{\int_{-\infty}^{\infty}\left|U_\beta(x,p,q)\right|^2dx} \qquad (۵)$$

و با استفاده از قانون ABCD، پهنای پرتو پس از انتشار درون محیط (w_2) بهصورت زیر دست می آید [۶]:

$$w_2^2=A^2w_1^2+B^2U_1 \qquad (۶)$$

که در آن

$$U_1=\frac{\lambda^2\int_{-\infty}^{\infty}\left|\frac{\partial}{\partial x}U_\beta(x,p,q)\right|^2dx}{\pi^2\int_{-\infty}^{\infty}\left|U_\beta(x,p,q)\right|^2dx} \qquad (۷)$$

در این حالت شعاع انحنای پرتو کارتزین از رابطه زیر بهدست میآید:

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{2w_2^2}\frac{\partial w_2^2}{\partial z} \qquad (۸)$$

۳- محیط عدسی گرمایی

وقتی نور به محیطی برخورد میکند آن محیط را گرم میکند که این امر باعث متفاوت شدن ضریب شکست نقاط مختلف محیط میشود. محیط تحت این شرایط مانند یک عدسی کانونی کننده عمل میکند و باعث تغییر مسیر پرتوهایی عبوری میشود، به این پدیده عدسی گرمایی میگویند.

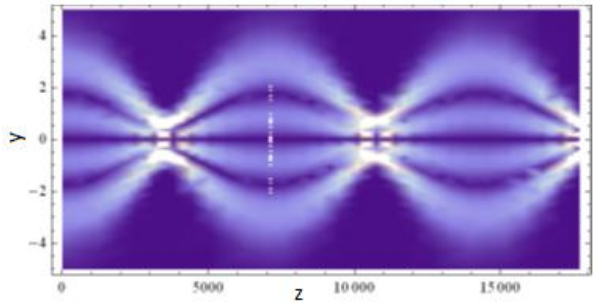
ماتریس عدسی گرمایی بهصورت زیر بیان میگردد [۷]:

$$\begin{pmatrix}A & B\\ C & D\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\cos(\beta z) & \sin(\beta z)/(\beta n_0)\\ -\beta n_0\sin(\beta z) & \cos(\beta z)\end{pmatrix} \qquad (۹)$$

که در این رابطه کمیت β ضریب محیط و n_0 ضریب شکست ثابت محیط است.

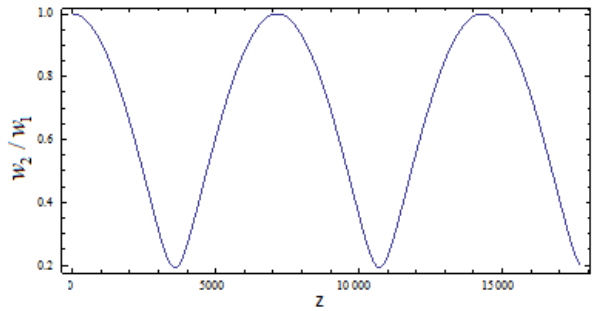
۴- انتشار پرتوکارتزین درمحیط عدسی گرمایی

در شکل ۲ انتشار پرتو کارتزین در محیط عدسی گرمایی (در جهت z) رسم شده است. در این شکل تغییرات انتشار پرتو در محیط به خوبی نشان داده شده است.



شکل ۲: شبیه سازی انتشار پرتو کارتزین به $p=iz_R$ ، $q=-iz_R$ ، $\beta_x=-1$ و $\beta_y=-1$.

شکل ۳ پهنای یک پرتو کارتزین در حین انتشار درون یک محیط عدسی گرمایی رسم شده است. این شکل تغییرات پهنای پرتو به صورت تناوبی را نشان میدهد بهطوری که دوره تناوب آن با افزایش توان ورودی کاهش مییابد.



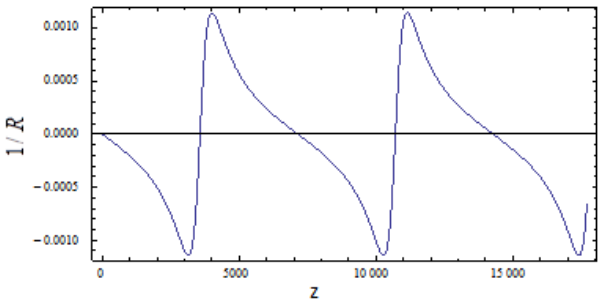
شکل۳: نسبت پهنای پرتو کارتزین به ازای $p=iz_R$ ، $q=-iz_R$ ،

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]

$\beta_x = -1$ و $\beta_y = -1$ در حین انتشار به پهنای پرتو اولیه.

شکل ۴ تحول شعاع پرتو کارتزین در حین انتشار درون یک محیط عدسی گرمایی نشان می‌دهد. شعاع انحنا در صفحه ورودی بی‌نهایت است و با انتشار درون محیط به صورت تناوبی تغییر می‌کند.

۲۳



شکل۴: شعاع انحنای پرتو کارتزین به ازای برای $p = iz_R$ ، $q = -iz_R$، $\beta_x = -1$ و $\beta_y = -1$ در حین انتشار بر حسب z / z_0

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله انتشار پرتوهای کارتزین در حین انتشار درون یک محیط عدسی گرمایی بررسی و شبیه سازی شد. نتایج نشان می‌دهد که تابع توزیع شدت، پهنای پرتو و شعاع انحنای این پرتوها به صورت تناوبی در حین انتشار تغییر می کند و دوره تحول آن‌ها بستگی به توان ورودی دارد، به نحوی که هر چه توان ورودی بزرگتر باشد دوره تحول آن‌ها کاهش می‌یابد.

مراجع

[1] Bandres M. A., Lopez-Mago D., Gutierrez-Vega J. C., J. **Opt**. 12 (2010) 065702

[۲] هنرآسا، غ.، کشاورز، ع.، فرمانی، ز. انتشار پرتو سهموی-گاوسی کارتزین در محیط‌های غیرخطی غیرموضعی قوی، بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران. ۸- ۱۰ بهمن (۱۳۹۲). شیراز.

[۳] آل سعدی، الهام.، کشاورز، علیرضا.، کریمی، محمد جواد. انتشار پرتوی گاوسی تخت شده همدوس جزئی در محیط عدسی گرمایی، سومین همایش ملی مهندسی اپتیک و لیزر ایران. ۱۷ و ۱۸ مهر(۱۳۹۲)، دانشگاه صنعتی مالک اشتر شاهین شهر.

[4] Bandres M. A., Lopez-Mago D., Gutierrez-Vega J. C., *J. **Opt.*** 12 (2010) 065702.

[5] Belanger P. A, ***Opt. Lett***. 16 (1991) 196.

[۶] هنرآسا، غ.، کشاورز، ع.، ویژگی‌های انتشار پرتوهای لورنتس-گاوس در محیط‌های غیرخطی غیرموضعی قوی، نوزدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران. ۳- ۵ بهمن (۱۳۹۱). زاهدان.

[7] Xu T., Wang S., *Propagation of Ince-Gaussian beams in a thermal lens medium*, **Opt.** Commun., Vol. 265, pp. 1-5, 2006.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-30]