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 : ۲-۲۲۲۵-۱۰-A

بررسی انتشار باریکه‌های فرش شعاعی از میان جو متلاطم

باقری، محمد[۱] ؛ رسولی،سیف‌اله[۱]

[۱]دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، بلوار استاد یوسف ثبوتی، زنجان
mo.bagheri@iasbs.ac.ir
rasouli@iasbs.ac.ir

چکیده- تلاطم جو که عامل نوسانات تصادفی دامنه و فاز جبهه موج است، مانع جدی در استفاده از لیزر به عنوان فرستنده اطلاعات در فضای آزاد است. پرتوهای ساختاریافته بخاطر ویژگی خودترمیمی که دارند، گزینه مناسبی برای انتقال اطلاعات هستند. در این مقاله مدهای مختلف باریکه فرش شعاعی که یک باریکه غیرپراشی است، از جو متلاطم به طول ۱۲۰m عبور داده شده است. پارامتر σ_{α}^{2} برای هرکدام از باریکه‌های عبوری در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شده است. همانطور که نشان خواهیم داد مدهای بالاتر باریکه فرش شعاعی نسبت به مدهای پایین‌تر، در عبور از جو متلاطم مقاومت بیشتری نشان می‌دهند.

کلید واژه - تلاطم جو، دامنه، جبهه موج، باریکه فرش شعاعی، باریکه لاگر گاوسی.

Propagation of radial carpet beams through atmospheric turbulence

Bagheri, Mohammad[1] ; Rasouli, Saifollah [1]

[1] Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan
mo.bagheri@iasbs.ac.ir
rasouli@iasbs.ac.ir

Abstract- Random fluctuations of the amplitude and phase of the wavefront are factors that prevent the use of lasers as information transmitters in the free-space. The nondiffracting beams can solve the transmit information issues. In this article, the different modes of radial carpet beams are passed through the turbulent atmosphere with a path length 120 meter. The σ_{α}^{2} parameter for each of these beams is measured at different day times. As we will see, the upper modes of radial carpet beam are more resistant than lower modes in passing turbulent atmospheres.

Keywords: Atmospheric Turbulence, Amplitude, Phase, Radial Carpet Beam, Laguerre-Gaussian Beam.

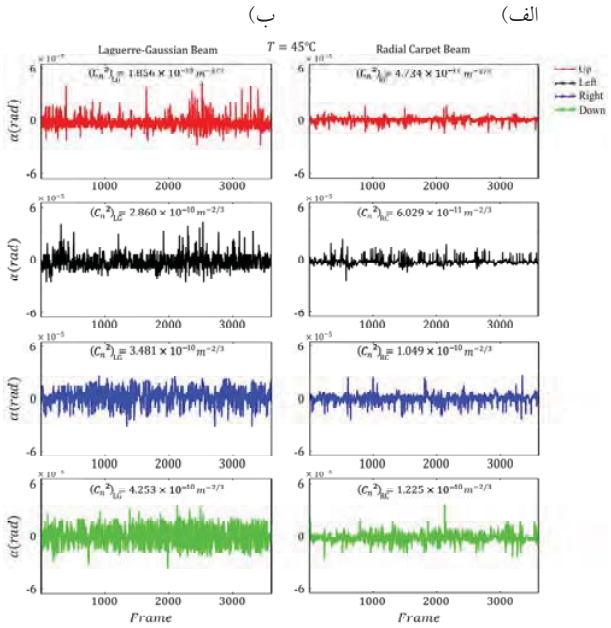
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

مقدمه

انتشار باریکه لیزر از میان جو متلاطم برای اهداف مختلفی از جمله ارتباطات نوری در فضای آزاد (FSO)، سنجش از راه دور جو و ردیابی هدف استفاده می‌شود [۱]. استفاده از باریکه لیزر برای انتقال اطلاعات در فضای آزاد دارای مزایای بیشتری نسبت به سایر روش‌های انتقال اطلاعات است، مانند ارتباط بین مکان‌های غیر ثابت، مقرون به صرفه بودن و امنیت بالاتر [۲]. در سال‌های اخیر، انتشار باریکه لیزر در جو متلاطم بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. پیش‌بینی می‌شود ارتباطات FSO به دلیل سرعت و امنیت بالا در انتقال اطلاعات، در شبکه‌های نظامی، ارتباطات بین فضاپیماها، ارتباطات بین سیاره‌ای و برنامه‌های امنیتی کاربردهای زیادی داشته باشد [۳].

نوسانات دما، فشار یا باد عوامل ایجاد تلاطم در جو هستند. این عوامل باعث تغییرات تصادفی در ضریب شکست جو می‌شوند که اصطلاحاً تلاطم اپتیکی نامیده می‌شود. توزیع تصادفی مکانی و زمانی ضریب شکست باعث تغییرات فاز و دامنه باریکه لیزر در عبور از جو متلاطم می‌شود [۴]. نوسانات تصادفی دامنه و فاز جبهه موج، مانع جدی در استفاده از لیزر به عنوان فرستنده اطلاعات در فضای آزاد است. پرتوهای ساختاریافته بخاطر ویژگی خودترمیمی که دارند گزینه مناسب‌تری برای انتقال اطلاعات هستند. اگر جبهه موج این باریکه‌ها حین انتشار در جو متلاطم دچار تغییرات تصادفی دامنه و فاز شود، ویژگی خودترمیمی آن‌ها کمک می‌کند تا سطح جبهه موج خود را دوباره ترمیم کنند. در کارهای قبلی، انتشار باریکه‌های ساختاریافته مانند باریکه‌های بسل، باریکه‌های لاگر گاوسی، باریکه‌های بسل گاوسی، باریکه‌های هرمیت گاوسی و باریکه‌های ایری از جو متلاطم بررسی شده است. آنچه که در خصوص منشاء ویژگی خودترمیمی باریکه-های ساختاریافته محرز است داشتن توزیع نسبتاً پیچیده برای دامنه مختلط در صفحه عرضی در این باریکه‌ها است. به نظر می‌آید هرچه تابع دامنه مختلط باریکه شکل پیچیده‌تری داشته باشد در آنصورت ویژگی خود ترمیمی آن بارزتر خواهد بود.

در کارهای قبلی میزان خودترمیمی باریکه فرش شعاعی که یک باریکه غیرپراشی است، در عبور از جو متلاطم آزمایشگاهی با باریکه لاگر گاوسی مقایسه شده است. در باریکه‌ی فرش شعاعی جابه‌جایی مرکز جرم شدت لکه‌ها در راستای شعاع و در باریکه‌ی لاگر گاوسی جابه‌جایی مرکز جرم شدت در راستای شعاعی برای چهار لکه در قسمت‌های بالا، چپ، راست و پایین باریکه‌ها بررسی شده است [۵]. نمودار مربوط به افت و خیزهای زاویه فرود در دمای ۴۵ درجه سانتی گراد در شکل ۱ آمده است.



شکل۱: مقایسه نوسانات زاویه ورود باریکه فرش شعاعی (الف) و لاگر گاوسی (ب) در عبور از محیط متلاطم آزمایشگاهی. دمای دستگاه گرمکن در این حالت ۴۵ درجه سانتی گراد است. C_n^2 مربوط به هر ناحیه در بالای نمودارها آورده شده است [۵].

مبانی نظری نوسانات زاویه فرود

به منظور بررسی تاثیر تلاطم جو روی باریکه‌های فرش شعاعی، نوسانات زاویه فرود مرکز جرم شدت پایین‌ترین لکه باریکه‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این منظور از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

$$\sigma_{\alpha}^{2} = \frac{\sigma_{Z}^{2}}{L^{2}} \qquad (۱)$$

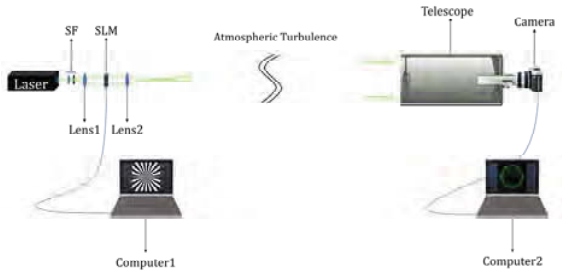
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

که در آن σ_α^2 وردش زاویه‌ی فرود، σ_Z^2 وردش مرکز جرم شدت لکه و L فاصله صفحه حساس دوربین تا کانون تلسکوپ هستند.

در این مقاله مدهای مختلف باریکه فرش شعاعی از جو متلاطم به طول ۱۲۰ m عبور داده شده‌اند. پارامتر σ_α^2 برای هرکدام از این باریکه‌ها در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شده است. همانطور که نشان خواهیم داد مدهای بالاتر باریکه فرش شعاعی نسبت به مدهای پایین‌تر، در عبور از جو متلاطم مقاومت بیشتری نشان می‌دهد.

مبانی تجربی

چیدمان مورد استفاده برای بررسی انتشار باریکه فرش شعاعی در جو متلاطم در شکل ۲ آمده است.

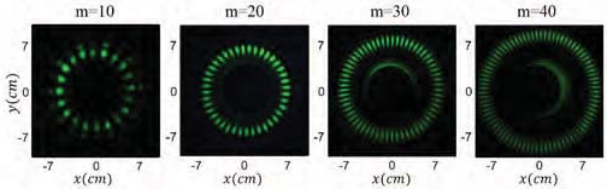


شکل۲: شمایی از چیدمان آزمایشگاهی مورد استفاده.

لیزر مورد استفاده در این پروژه دارای طول موج ۵۳۲nm است. باریکه لیزر توسط پالایه فضایی تمیز شده و سپس به وسیله عدسی با فاصله کانونی ۲۰ cm موازی می‌شود. نور موازی شده توسط مدولاتور فضایی نور (SLM) تغییر فاز پیدا می‌کند. برای تولید باریکه فرش شعاعی روی مدولاتر فضایی طرح توری شعاعی تحریر می‌شود. که دارای دوره تناوب در راستای سمتی است.

با عبور نور از محیط متلاطم، دامنه و فاز جبهه موج دچار افت و خیزهای تصادفی می‌شود. در نتیجه امتداد انتشار در نقاط مختلف نور ورودی، وابسته به میزان تلاطم، تغییر جهت پیدا می‌کنند. به این پدیده افت و خیز زاویه ورود گفته می‌شود. تحول شکل عرضی نور عبوری بعد از محیط متلاطم (به طول ۱۲۰ m) توسط تلسکوپ روی صفحه حساس دوربین Nikon D7200 با سرعت ۶۰ frame/sec رصد و ضبط می‌شوند. تصاویر ثبت شده با استفاده از نرم‌افزار MATLAB مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند.

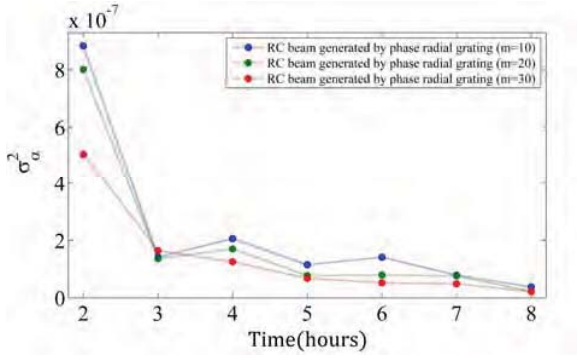
داده‌های تحلیل شده مربوط به ساعات ۲۰-۱۴ روز ۱۳ شهریور است. در هر نمودار ۳۶۰۰ تصویر پی‌درپی مورد بررسی قرار گرفته است. در این پروژه میزان مقاومت باریکه‌های فرش شعاعی تولید شده با توری‌های فازی شعاعی با تعداد خطهای m=۱۰، m=۲۰، m=۳۰ و m=۴۰ و همینطور باریکه‌های فرش شعاعی تولید شده با توری‌های دامنه‌ای شعاعی با m=۱۰ ، m=۲۵ در عبور از جو متلاطم بررسی شده است. در شکل ۳ نمونه‌ای از تصاویر ثبت شده برای باریکه‌های فرش شعاعی تولید شده با توری شعاعی فازی آورده شده است.



شکل ۳: تصاویر ثبت شده برای باریکه فرش شعاعی تولید شده با توری شعاعی فازی در جو متلاطم.

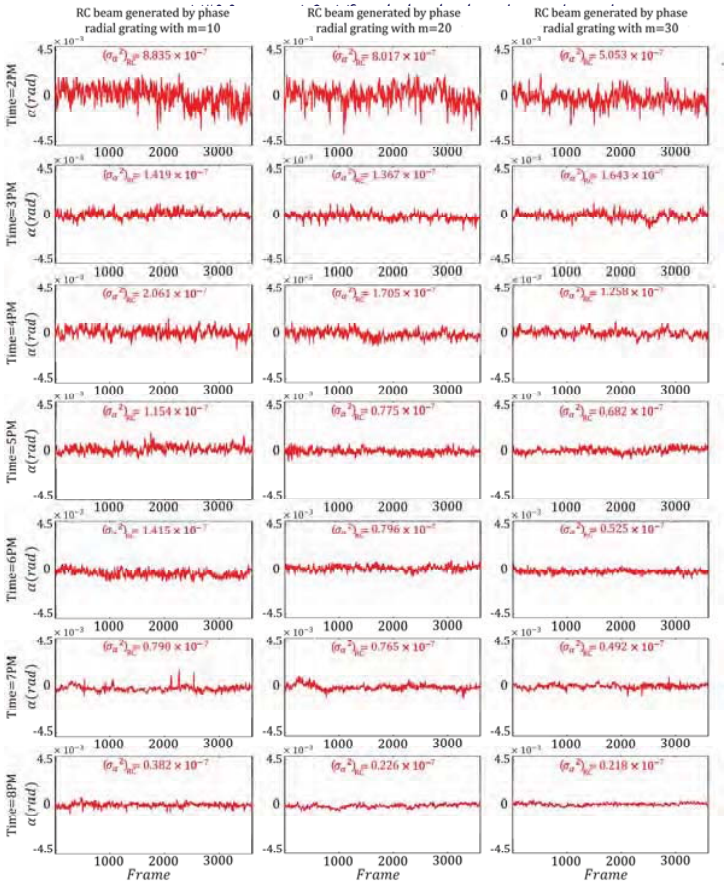
جابجایی‌های مرکز جرم شدت پایین‌ترین لکه باریکه‌های فرش شعاعی در شکل ۴ آمده است. بررسی‌های انجام شده روی مدهای مختلف این باریکه نشان می‌دهد که با افزایش تعداد خطوط توری شعاعی، مقاومت این باریکه حین عبور از جو متلاطم افزایش می‌یابد.

همچنین شکل ۵ نشان می‌دهد در ساعات وسط روز تلاطم زیاد بوده و این با افزایش وردش زاویه ورود در همه باریکه ها دیده می شود.



شکل ۵: تغییرات σ_α^2 برای مدهای مختلف باریکه فرش شعاعی بر حسب زمان از ساعت ۲ بعد ازظهر تا ساعت۸ عصر.

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



شکل ۴: مقایسه افت و خیزهای زاویه فرود باریکه‌های فرش شعاعی تولید شده با توری فازی با m=۱۰ (ستون اول)، m=۲۰ (ستون دوم) و m=۳۰ (ستون سوم) در عبور از جو متلاطم به طول ۱۲۰ m. σ_α^2 مربوط به هر ناحیه در بالای نمودارها آورده شده است.

نتیجه‌گیری

در این کار، انتشار باریکه‌های فرش شعاعی از میان جو متلاطم انجام شد. سپس افت‌وخیزهای زاویه ورود مدهای مختلف این باریکه‌ها در ساعات ۲۰-۱۴ روز ۱۳ شهریور با یکدیگر مقایسه گردید. σ_α^2 بدست آمده از پایین‌ترین لکه باریکه‌ها، نشان دهنده مقاومت بیشتر مدهای بالاتر باریکه‌ی فرش شعاعی در عبور از جو متلاطم است. این ویژگی باریکه‌ی فرش شعاعی که یک باریکه غیرپراشی است، ناشی از خاصیت خود ترمیمی آن است و نشان‌دهنده آن است که هرچه تابع دامنه مختلط باریکه شکل پیچیده‌تری داشته باشد در آن صورت ویژگی خود ترمیمی آن بارزتر خواهد بود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور در قالب طرح شماره ۹۸۰۰۳۳۲۵ انجام شده است.

مرجع‌ها

[1] L. C. Andrews and R. L. Phillips, Laser Beam Propagation in the Turbulent Atmosphere (CSPIE Press, 2005).

[2] H. Henniger and O. Wilfert, “An introduction to free-space optical communications,” Radioengineering 19, 203212 (2010).

[3] H. Willebrand and B. S. Ghuman, in Free Space Optics: Enabling Optical Connectivity in Todays Networks (SAMS, 2002).

[4] E. E. Silbaugh, B. M. Welsh, and M. C. Roggemann, “Characterization of atmospheric turbulence phase statistics using wave-front slope measurements,” JOSA A 13, 2453–2460 (1996).

[۵] رسولی، سیفاله، باقری، محمد، بررسی انتشار باریکه‌های فرش شعاعی از میان جو متلاطم آزمایشگاهی، کنفرانس فیزیک ایران، ۱۳۹۹.

[6] F. Roddier, "The Effects of Atmospheric Turbulence in Optical Astronomy," Progress in Optics, Vol. 19, 99. 281 – 376(1981).

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