



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 : ۱-۲۴۸۸-۱۰-A

اندازه‌گیری بار توپولوژیکی گردابه‌های نوری

آرش ثباتیان، بهناز جاویدی ریشکانی

ارومیه، دانشگاه ارومیه، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده- در این مقاله نشان داده می‌شود که با استفاده از دوران قطعه اپتیکی مولد گردابه نوری می‌توان بار توپولوژیکی گردابه تولید شده را به سادگی اندازه‌گیری کرد. برای اینکار قطعه پراشی مورد نظر مولد را نسبت به پرتو فرودی دوران می‌دهیم دوران باعث از بین رفتن تقارن استوانه‌ای سیستم می‌شود و این عدم تقارن به علت وجود استیکماتیسم تحمیلی در سیستم نوری است. این کار باعث می‌شود که در کانون تعدادی خطوط تداخلی تشکیل شود. نشان داده می‌شود که تعداد خطوط با بار توپولوژیکی رابطه مستقیم دارد. این روش برای بارهای توپولوژیکی کسری نیز به کار گرفته شد و مشاهده شد که فریز تداخلی اضافی تولید می‌شود که شدت آن متناسب با بزرگی قسمت کسری بار است.

کلیدواژه- پراش، عدسی پراشی، تیغه فرنل مربعی، ساختار دهی باریکه

Topological charge measurement of an optical vortex

Arash Sabatyan, Behnaz Javidi Rishakani

Physics department, Faculty of science, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract- In this article, it is shown that one can simply measure topological charge of the optical vortex generated by means of a diffractive element through tilting the element. To this end, the element is tilted with respect to the incident beam. The tilt causes the cylindrical symmetry of the system remove so this asymmetry is because of the existence of the imposed astigmatism on the system. As a result, a number of interference fringes are formed at the focal plane. It is demonstrated that the number of the fringes is directly related to the strength of the charge. This method was employed to the fractional topological charge and realized that an extra fringe is brought to birth so its intensity is proportional to the magnitude of the fractional part of the charge.

Keywords: Diffraction - Diffractive lens – Optical vortex – Topological charge

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

۱- مقدمه

۲- معادلات ریاضی

باریکه های نوری با تکینگی فازی و جابجایی پیچشی فاز در جبهه ی موجشان به عنوان پرتو های گردابی شناخته می شوند [۱]. که تعداد کل پیچ ها در یک دوران کامل روی جبهه موج بار توپولوژیکی نامیده می شود [۲].

$$t(x', y') = e^{\frac{ik}{2f}(\alpha x' + \beta y') + iL\varphi}$$

که در این معادله (x', y') مختصات دکارتی در صفحه تیغه و $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ عدد موج، λ طول موج، f فاصله کانونی تیغه فرنل است.

از این تیغه برای تولید میدان های گردابی نوری که حامل بار های توپولوژیکی متفاوتی باشند استفاده می شود، برای محاسبه میدان پراش یافته از تیغه فرنل مارپیچی می توان از انتگرال فرنل کیر شهب استفاده کرد.

$$u(x, y, z) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} \iint t(x', y') e^{\frac{ik}{2f}[(x-x')^2 + (y-y')^2]} dx' dy'$$

که در آن z فاصله از تیغه فرنل است.

۳- داده های شبیه سازی و تجربی

برای انجام شبیه سازی نمونه ها را با فاصله کانونی $f=500$ mm و شعاع $R=5$ mm با طول موج کاری $\lambda=632.8$ nm در نظر گرفتیم. و همچنین برای بررسی نتایج شبیه سازی، نمونه های طراحی شده با استفاده از فرایند لیتو گرافی چاپ و در آزمایشگاه تحت چیدمانی که به صورت شکل (۲) نمایش داده شده و توسط نور لیزر هلیوم نئون ($\lambda=632.8$ nm) بعد از فیلترینگ و موازی سازی به طور عمودمورد تابش قرار داده شده است. سپس توزیع شدت آنها را در صفحه کانونی توسط CCD در رایانه ثبت و ذخیره می شود.

گردابه های نوری حرکت زاویه ای مداری را با فاز مارپیچ $\exp(iL\varphi)$ حمل می کند، که در آن L بار توپولوژیکی و φ زاویه سمتی است. L یک عدد صحیح است و می تواند عدد صحیح و کسری را به خود بگیرد [۳].

اندازه حرکت زاویه ای نور برای توصیف چرخش دینامیکی موج الکترومغناطیسی استفاده می شود، که تاکنون دو منشأ برای اندازه حرکت زاویه ای نور شناسایی شده است. اولین منشأ به عنوان SAM^1 که قطبش را توصیف می کند و دومین منشأ OAM^2 که فاز را توصیف می کند که می توان با در نظر گرفتن تقریب پیرامحوری این دو را از هم تفکیک کرد [۴].

گرداب های نوری در بسیاری از زمینه های علوم و فناوری، به دام انداختن نور [۵]، اطلاعات کوانتومی [۶]، میکروسکوپ های نوری [۷]، میکروسکوپ اشعه ایکس [۸]، تداخل سنجی [۹].

روش های مختلفی برای اندازه گیری بار توپولوژیکی وجود دارد از جمله روش های تداخلی [۱۰]، پراش از روزنه مثلث [۱۱]، تبدیل فوریه [۱۲]، تبدیل مدی [۱۳]، روزنه انتشار گردابه های نوری تحت تغییر فاز درجه دوم که می تواند علامت بار توپولوژیکی را نیز تعیین کند [۱۴].

در این مقاله از انتشار گردابه های نوری استفاده می شود با دوران عنصر پراشی در کانون تعدادی خطوط تداخلی تشکیل می شود که این خطوط تداخلی با بار توپولوژیکی رابطه دارد. حتی می توان علامت بار توپولوژیکی را نیز تعیین کرد. این روش برای اندازه گیری بارهای توپولوژیکی کسری نیز قابل استفاده است.

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

ردیف ۲: توزیع شدت ثبت شده با بار توپولوژیکی $p=1,2,3,4$

ردیف ۳: توزیع شدت شبیه سازی شده با بار توپولوژیکی $p=10,14,16,20$

ردیف ۴: توزیع شدت ثبت شده با بار توپولوژیکی $p=10,14,16,20$

ردیف ۵: توزیع شدت شبیه سازی شده با بار توپولوژیکی $p=3.1,3.3,3.6,3.9$

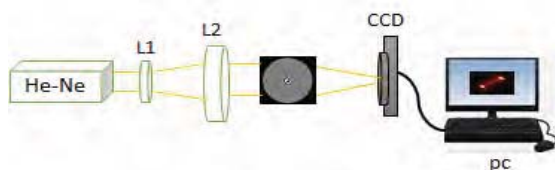
ردیف ۶: توزیع شدت ثبت شده با بار توپولوژیکی $p=3.1,3.3,3.6,3.9$

ردیف ۷: توزیع شدت شبیه سازی شده با بار توپولوژیکی $p=7.1,7.3,7.6,7.9$

ردیف ۸: توزیع شدت ثبت شده با بار توپولوژیکی $p=7.1,7.3,7.6,7.9$

ردیف ۹: توزیع شدت شبیه سازی شده با بار توپولوژیکی $p=-2,-5,-10,-15$

ردیف ۱۰: توزیع شدت ثبت شده با بار توپولوژیکی $p=-2,-5,-10,-15$

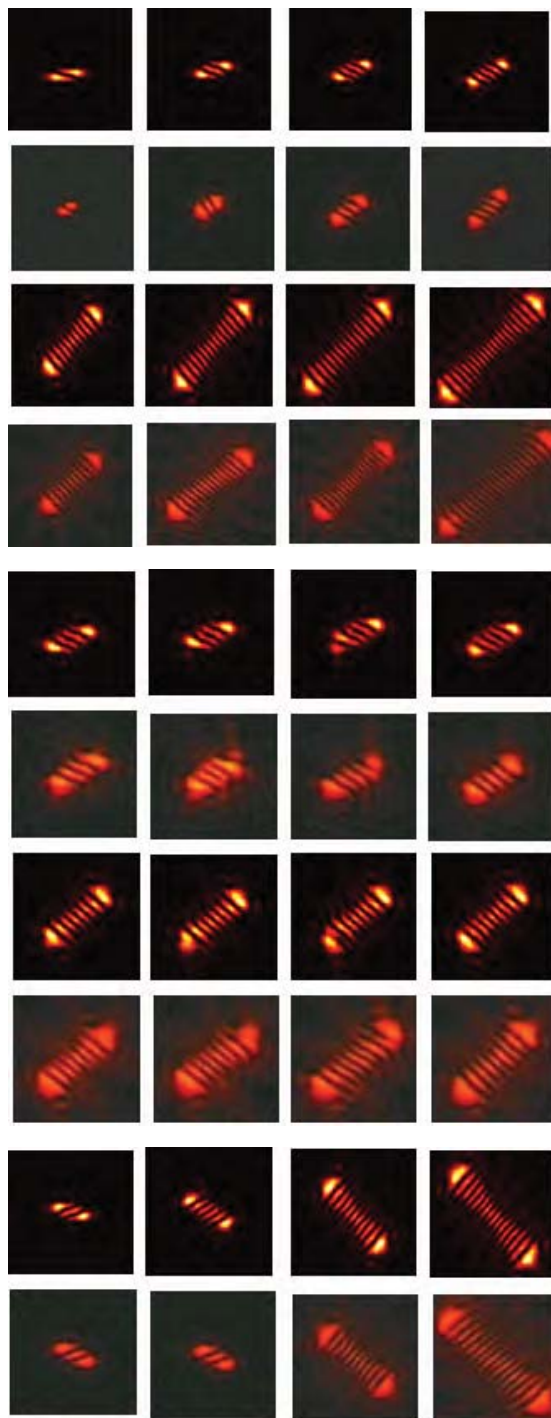


۵- نتیجه گیری

در نتیجه ما یک روش ساده، کارآمد، دقیق و قابل انعطاف را برای اندازه گیری اندازه و علامت بار توپولوژیکی گردابه های نوری پیشنهاد دادیم. در این روش با دوران قطعه پراشی مولد گردابه در کانون فریزهای تداخلی خطی تولید می شود که تعداد آنها اندازه بار توپولوژیکی و جهت آنها علامت بار را به دست می دهند. که در ادامه آزمایشات متناظر با شبیه سازی نتایج بدست آمده راستی آزمایی شدند.

۶- منابع

[1]. J E Curtis and D G Grier, "Structure of optical vortices." Phys. Rev. Lett. **90** (2003) 133901.
 [۲]. آ ثباتیان، ز بهجت، " ایجاد آرایه هایی دلخواه از پرتو های گردابه کامل." مجله پژوهش فیزیک ایران ۱۹، ۴ (۱۳۹۸) ۷۹۳.
 [3]. L. Allen, M.W. Beijersbergen, R.J.C. Spreeuw, J.P. Woerdman, Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes, Phys Rev. A **45** (1992) 8185..
 [4]. P Qiu, , Y Kong, Z Hu, Z Jiang, X He, C Liu, T Liu, and S Wang. "Simultaneous Light Spin and Orbital



ردیف ۱: توزیع شدت شبیه سازی شده با بار توپولوژیکی $p=1,2,3,4$

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

- [13]. J Zhou, Jie, W Zhang, and L Chen. "Experimental detection of high-order or fractional orbital angular momentum of light based on a robust mode converter." *Applied Phys Lett*. 108 (2016) 111108.
- [14]. P. Vaity, R.P. Singh, "Topological charge dependent propagation of optical vortices under quadratic phase transformation." *Opt. Lett.* 37 (2012) 1301.
- Angular Momentum Detection Using Orthogonal Nanoslit Pairs in Semi-Ring Array." *Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications* (2020) 100814.
- [5]. A.T. O'Neil, I. MacVicar, L. Allen, M.J. Padgett, Intrinsic and extrinsic nature of the orbital angular momentum of a light beam, *Phys. Rev. Lett.* 88 (2002) 053601.
- [6]. A. Vaziri, G. Weihs, A. Zeilinger, "Experimental two-photon, three-dimensional entanglement for quantum communication", *Phys. Rev. Lett.* 89 (2002) 240401.
- [7]. F. Tamburini, G. Anzolin, G. Umbriaco, A. Bianchini, C. Barbieri, "Overcoming the Rayleigh criterion limit with optical vortices", *Phys. Rev. Lett.* 97 (2006) 163903.
- [8]. A. Sakdinawat, Y. Liu, "Soft-x-ray microscopy using spiral zone plates", *Opt. Lett.* 32 (2007) 2635-2637.
- [9]. S. Fürhapter, A. Jesacher, S. Bernet, M. Ritsch-Marte, "Spiral interferometry", *Opt. Lett.* 30 (2005) 1953-1955.
- [10]. S. Fürhapter, A. Jesacher, S. Bernet, M. Ritsch-Marte, "Spiral interferometry", *Opt. Lett.* 30 (2005) 1953-1955.
- [11]. L. de Araujo, M. Anderson, "Measuring vortex charge with a triangular aperture." *Opt. Lett.* 36 (2011) 787.
- [12]. S. Prabhakar, A. Kumar, J. Banerji, R.P. Singh, "Revealing the order of a vortex through its intensity record." *Opt. Lett.* 36 (2011) 4398-4400.

