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 : ۱-۲۳۸۷-۱۰-A

مطالعه برهم‌نهی باریکه‌های گردابی نوری

آرش ثباتیان*، شراره جلالی

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه

a.sabatyan@urmia.ac.ir, st_sh.jalali@urmia.ac.ir

چکیده -در این مقاله برهم‌نهی باریکه‌های گردابی نوری مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای تولید باریکه‌های گردابی نوری، از تیغه‌های-منطقه‌ای فرنل مارپیچی استفاده کردیم و برهم‌نهی باریکه‌های گردابی نوری، حاصل از تیغه‌های منطقه ای فرنل مارپیچی را در کانون و خارج کانون مورد مطالعه و بررسی قرار دادیم. نتیجه حاصل، تولید تنوع بسیار زیادی از پرتوهای گردابی نوری با توزیع شدت‌های مختلف است که می‌توانند حامل بارهای توپولوژیکی صحیح و غیرصحیح باشند.

کلیدواژه- بار توپولوژیک، باریکه‌های گردابی نوری، برهم‌نهی، پراش

Study of the superposition of optical vortex beams

Arashsabatyan, Shararehjalali

The Physics Department,Faculty of Science,Urmia University, Urmia

Abstract- In this study,Thesuperposition of optical vortex beams will be examined.In order to produce, optical vortex beams,weused of Fresnel spiral regional plates and superposition of optical vortex beams,we usedFresnel spiral zone plates and studied the overlap of the optical vortex beams resulting from the spiral fresnel zonal plates inside and outside the focus. The result is the production of huge variety of optical vortex beams with different intensities that can carry integerand fractional topological charges.

Keywords: Diffraction, Optical vortex,Superposition,Topological charge

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

مقدمه

باریکه‌های نوری با تکنیکی فازی و جابه‌جایی پیچشی فازی در جبهه موجشان به عنوان پرتوهای‌گردابی نوری شناخته می‌شوند[1]. فاز یک باریکه گردابی، حول محور اپتیکی می‌چرخد که این چرخش باعث می‌شود جبهه موج در حین انتشار به حالت مارپیچی تاب بخورد. تعداد تاب خوردگی‌های که نور در فاصله انتشاری به اندازه یک طول موج تجربه می‌کند، با عدد صحیح به نام بار توپولوژیکی تعریف می‌شود که این عدد می‌تواند مثبت، منفی، صحیح یا غیرصحیح باشد که علامت آن تعیین‌کننده ساعتگرد یا پاد ساعتگرد بودن جهت پیچش است. باریکه‌های گردابی نوری با دارا بودن، خواص ویژه‌ای کاربردهای وسیعی در علوم و تکنولوژی دارند. این باریکه‌ها دارای حرکت زاویه‌ای مداری هستند. تکانه نوری چنین باریکه‌ای، شامل مولفه‌ای در جهت انتشار باریکه و مولفه‌ای از زاویه سمتی به شکل $\exp(ip\varphi)$ که در آن p بار توپولوژیکی و φ زاویه سمتی است. تکانه زاویه مداری می‌تواند باعث انتقال گشتاور مکانیکی به ذرات و چرخش آن‌ها شود. وجود اندازه حرکت مداری در باریکه‌های گردابی نوری باعث به کارگیری این باریکه‌ها در علوم مختلف که از جمله آن‌ها می‌توان به مخابرات کوانتومی، تله اندازی اتم‌ها، پردازش تصویر نام برد[4]. کاربردهای گسترده، باعث مطالعه باریکه‌های گردابی نوری و اندازه‌گیری بار توپولوژیکی می‌گردد.

تئوری و شبیه‌سازی

تیغه منطقه‌ای فرنل مارپیچی یک عدسی پراشی است که در مقایسه با تیغه‌ی منطقه‌ی دایره‌ای از نواحی مارپیچی تشکیل شده است. بنابراین تابع عبور تیغه‌ی منطقه‌ای مارپیچی (SZP) بصورت زیر تعریف می‌شود[3]:

$$T_{SZP1}(r,\theta)=\sum_n C_n\left[\exp\left(\frac{-ikr^2}{2f}+ip_1\theta\right)\right] \quad (1)$$

$$T_{SZP2}(r,\theta)=\sum_n C_n\left[\exp\left(\frac{-ikr^2}{2f}+ip_2\theta\right)\right] \quad (2)$$

که در آن (r,θ) مختصات قطبی در صفحه تیغه، f فاصله کانونی و p بار توپولوژیکی است.

پراش حاصل از تیغه‌ها را با استفاده از قضیه هم‌تافتگی و انتگرال فرنل کیرشهف بدست می‌آوریم[2]:

$$U_i(r,\theta;z)=\mathcal{F}^{-1}\{\mathcal{F}[T_i(r,\theta)]\mathcal{F}[h(r;z)]\},\ i=1,2 \quad (3)$$

که در آن $h(r;z)=\exp(\frac{ikr^2}{2z})$ تابع پاسخ فضای آزاد و $\mathcal{F}$ تبدیل فوریه است.

پس شدت حاصل را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$I=|U_1+U_2| \quad (4)$$

مدل ریاضی ساده را برای برهم‌نهی دو پرتوگردابی با دامنه‌های یکسان را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$A_0e^{iL_1\varphi}+A_0e^{iL_2\varphi}=2A_0\,e^{i\frac{L_1+L_2}{2}\varphi}\times\cos(\frac{L_1-L_2}{2}) \quad (5)$$

نتیجه کلی مدل نشان می‌دهد که حاصل بر هم‌نهی، پرتو گردابی است که بار توپولوژیکی آن، میانگین بار توپولوژیکی دو پرتو اولیه و توزیع شدت آن تابع زاویه سمتی خواهد بود.

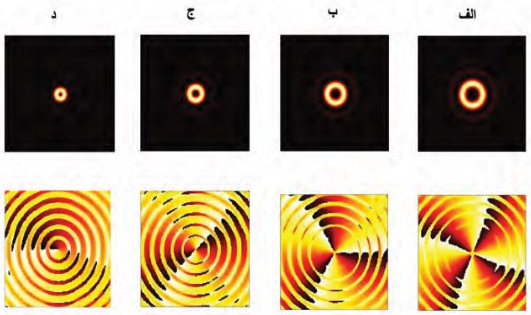
مثلا، اگر بار دو پرتو برابر باشد، بار توپولوژیکی پرتو حاصل، پرتو گردابی با همان بار توپولوژیکی خواهد بود [5]. در غیر این‌صورت، اگر که اندازه بارها یکسان ولی علامت متفاوتی داشته باشند پرتو حاصل، پرتو گردابی نیست.

برای بررسی برهم‌نهی باریکه‌های گردابی نوری، تعدادی تیغه فرنل مارپیچی با مقادیر مختلفی از بارهای توپولوژیکی که شامل صفر، مثبت و منفی در نظر گرفته شد و توزیع شدت در کانون توسط رابطه(۴) شبیه‌سازی شد.

در مطالعه اول، دو پرتوگردابی با بار توپولوژیکی یکسان مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و شکل 1، نتایج حاصل از

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

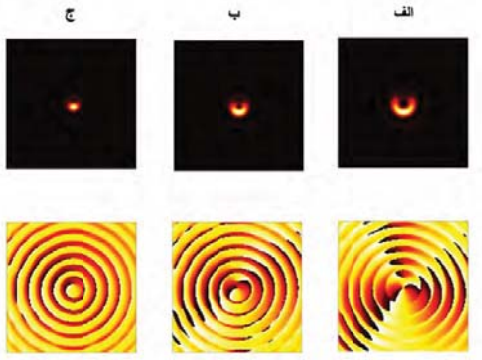
این مطالعه را نشان می‌دهد، که به ترتیب شکل الف-د پرتوهای اولیه با بار توپولوژیکی 4,4 ،3,3 ،2,2، 1,1 را نشان می‌دهد که پرتو حاصل یک پرتو گردابی با بارهای توپولوژیکی 1،2،3،4 می‌باشد.



شکل1:ردیف اول(شکل الف-د)، توزیع شدت ناشی از برهم‌نهی دو پرتو گردابی نوری به ترتیب با بار توپولوژیکی 4,4 ،3,3 ،2,2 ،1,1
ردیف دوم:توزیع فاز متناظر با این توزیع شدت.

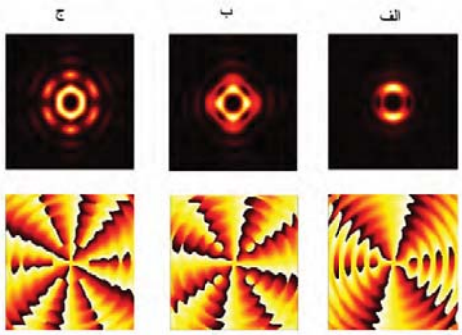
مطالعات بیشتر بر روی پرتوهای گردابی نوری با بارهای توپولوژیکی متفاوت صورت گرفت و نشان داده شد که می‌توان تنوع بسیار زیادی از باریکه‌های نوری را تولید کرد که شکل 2،3،4 و5 نتایج حاصل از این مطالعات را نشان می‌دهد.

در شکل2 الف -ج،توزیع شدت ناشی از بر هم‌نهی دو پرتو گردابی به ترتیب حامل بارهای توپولوژیکی2،3،2،1، 1,0 را نشان می‌دهد که پرتو حاصل یک پرتو گردابی به ترتیب با بار توپولوژیکی غیر صحیح 1/2،3/2،5/2 می‌باشد.



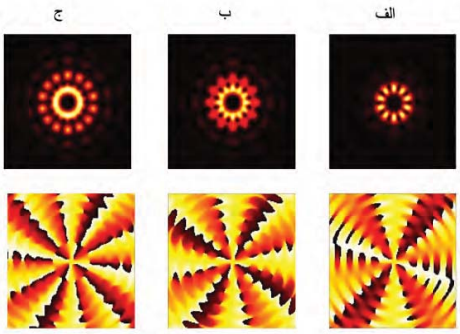
شکل2:ردیف اول: (شکل الف-ج)توزیع شدت ناشی از برهم‌نهی دو پرتو گردابی نوری،به ترتیب با بارهای توپولوژیکی 3,2، 2,1، 1,0.
ردیف دوم: توزیع فاز متناظر با این توزیع شدت.

شکل 3، نمونه‌ای دیگری از بر هم‌نهی پرتوهای گردابی نوری را نشان می‌دهد، که بار توپولوژیکی پرتوهای اولیه، اندازه یکسان ولی علامت متفاوتی دارند در این‌صورت پرتوهای حاصل، به شکل پرتو گلبرگی مانند هستند.

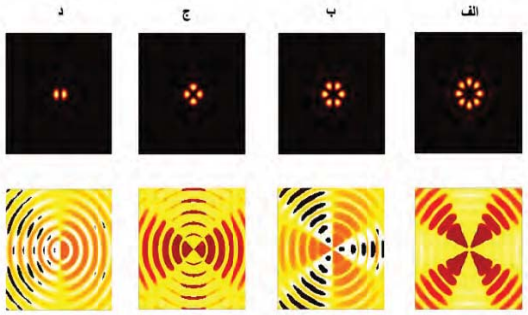


شکل3:ردیف اول: (شکل الف-د)توزیع شدت ناشی از برهم‌نهی دو پرتو گردابی نوری، به ترتیب حامل بارهای توپولوژیکی4,4-، 3,3-، 2,2-، 1,1
ـ ردیف دوم:توزیع فاز متناظر با این توزیع شدت.

همچنین در شکل‌های 4و5 نمونه‌های دیگری از باریکه-های نوری که تحت شرایط ذکر شده، تولید شده‌اند نشان داده شده است.



شکل4 :ردیف اول: (شکل الف-ج)توزیع شدت ناشی از برهم‌نهی دو پرتو گردابی نوری. به ترتیب با بارهای توپولوژیکی6,4، 8,4، 10,4
ردیف دوم: توزیع فاز متناظر با این توزیع شدت.



شکل5:ردیف اول: (الف-ج)،توزیع شدت ناشی از برهم‌نهی دو پرتو گردابی نوری، به ترتیب حامل بارهای توپولوژیکی 6,4-، 8,4-، 10,4-ردیف دوم :توزیع فاز متناظر با این توزیع شدت.

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

نتیجه‌گیری

در این مقاله برهم‌نهی پرتوهای گردابی نوری حامل بارهای توپولوژیکی صفر مثبت و منفی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

نتایج حاصل نشان داد که با استفاده از برهم‌نهی باریکه‌های گردابی نوری می توان تنوع بسیاری از گردابه‌های نوری حامل بارهای صحیح و کسری و همچنین باریکه‌های نوری در شکل‌های مختلفی همانند باریکه‌های گلبرگی و آرایه‌ای از نقاط کانونی را ایجاد کرد.

.

مرجع‌ها

[1] J E Curtis and D G Grier, Phys. Rev. Lett. 90 2003 . 133901.

[2]J W Goodman. -Introductton to Fourier optics". 3rd edition. Roberts & C ompany 2005.

[3] A Sabatyan, and ZBehjat, The Annual Physics conference of Iran, Shiraz Universay. 1065. 2016.

[4]S. Tao, J. Lin, and X. Peng, "Fractional optical vortex beam induced particles,. Opt. Express, vol. 13, pp. 7726-7731, 2005.

[5] M V Berry, 'Optical vortices evolving from helicoidal integer and fractinoal phase steps,' J. Opt. A: .Pure Appl. Opt. vol. 6, pp. 259-268, 2004.

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