



بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰



بررسی تداخل گردابه‌های نوری با استفاده از تداخل سنج ماخ زندر

آرش ثباتیان^۱، شراره جلالی^۲

۱) به ترتیب استاد و دانشجو کارشناسی ارشد گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

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

چکیده - در این مقاله بر هم‌نهی پرتوهای گردابی نوری مورد بررسی قرار می‌گیرد، اصول کار بر پایه ترکیب تیغه‌های منطقه‌ای فرنل مارپیچی است. بر هم‌نهی پرتوهای گردابی نوری، حاصل از تیغه‌های منطقه‌ای فرنل مارپیچی، را در کانون مورد مطالعه قرار داده و نتیجه حاصل تولید تنوع بسیار زیادی از باریک‌های گردابی نوری است که دارای توزیع شدت مختلف اند که می‌توانند حامل بارهای توپولوژیکی صحیح یا غیر صحیح باشند. نتایج شبیه سازی شده در آزمایشگاه مورد راستی آزمایی قرار گرفت که مشخص شد نتایج شبیه سازی، با نتایج تجربی همخوانی بسیار نزدیکی دارد.

کلید واژه - بار توپولوژیکی، برهم‌نهی، پرتوهای گردابی نوری، تداخل، تیغه‌های منطقه‌ای فرنل مارپیچی.

Investigation of optical vortex interference using Mach Zander's interferometer

Arash Sabatyan¹, Sharareh Jalali²

The Physics Department, Faculty of Science, Urmia University

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

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

Keywords: Fresnel spiral regional plates, Optical vortex beams, Superposition, Topological charge.

داده های شبیه سازی و تجربی

تیغه منطقه ای فرنل مارپیچی یک عدسی پراشی است که در مقایسه با تیغه منطقه ای دایره ای از نواحی مارپیچی تشکیل شده است. بنابراین تابع عبور تیغه منطقه ای مارپیچی (SZP) به صورت زیر تعریف می شود [۳]:

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

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

که در آن (r, θ) مختصات قطبی در صفحه تیغه، f فاصله کانونی و p بار توپولوژیکی است. پراش حاصل از تیغه ها را با استفاده از قضیه هم تافتگی و انتگرال فرنل کیرشلف بدست می آوریم [۳]:

(3)

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

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 می توان از رابطه زیر بدست آورد:

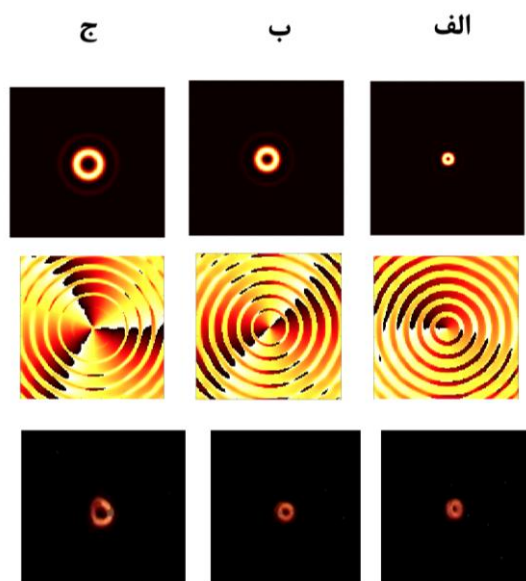
$$I = |U_1 + U_2| \quad (4)$$

مدل ریاضی ساده را برای برهم نهی دو پرتو گردابی با دامنه های یکسان را می توان به صورت زیر نوشت:

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

مقدمه

باریکه های نوری (optical vortex)، پرتوهایی هستند که می توانند تکانه زاویه های مداری را با خود حمل کنند. این پرتوها به صورت پیچشی در فضا انتشار می یابند، از این رو اگر از این پیچش مقطعی (فرضی) بریده شود، آن گاه توزیع فازی آن سطح مقطع شبیه به یک گرداب خواهد بود، به همین دلیل این امواج یا پرتوها را با نام گردابه نوری می شناسند، بنابراین این توزیع فازی خواهد بود که به صورت گرداب است. در اصل باریکه های گردابی با تکینگی فازی و جابه جایی پیچشی فاز در جبهه موجشان به عنوان پرتو گردابی شناخته می شوند [۱]. این باریکه ها دارای اندازه حرکت زاویه ای مداری هستند و سطح موج این باریکه ها دارای فاز چرخشی با رابطه $\exp(ip\varphi)$ است، که در آن φ زاویه سمتی و p بار توپولوژیکی باریکه است. پرتوهای گردابی به دلیل داشتن این ویژگی منحصر بفرد مورد توجه محققان قرار گرفته اند و کاربردهای بسیار وسیعی در مخابرات کوانتومی، تله اندازی اتم ها و پردازش تصویر دارند [۲]. کاربردهای گسترده، باعث مطالعه باریکه های گردابی نوری و اندازه گیری بار توپولوژیکی می گردد.

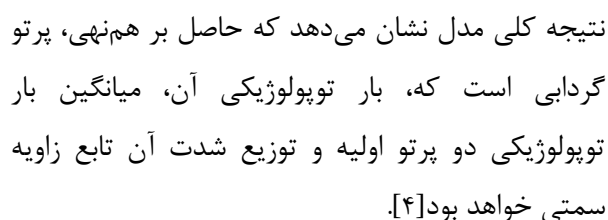


شکل ۲: ردیف اول (شکل الف- ج)، توزیع شدت ناشی از برهم‌نهی دو پرتو گردابی نوری به ترتیب حامل بار توپولوژیکی (۱، ۲، ۳، ۴) ..

ردیف دوم: توزیع فاز متناظر با این توزیع شدت.

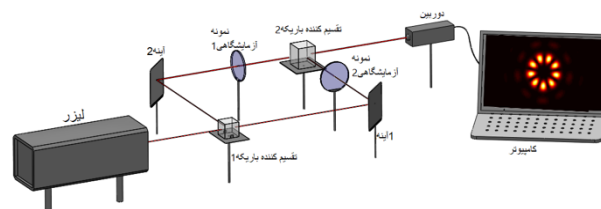
ردیف سوم: نتایج تجربی متناظر با نمونه‌های در نظر گرفته شده در شبیه سازی.

مطالعات بیشتر بر روی پرتوهای گردابی نوری با بارهای توپولوژیکی متفاوت صورت گرفت. و نشان داده شد که می‌توان تنوع بسیار زیادی از باریک‌های نوری را تولید کرد. که شکل ۳ و ۴، نتایج حاصل از این مطالعات را نشان می‌دهد.



مثلاً، اگر بار توپولوژیکی دو باریکه گردابی از لحاظ اندازه و علامت یکسان باشند، بار پرتو گردابی حاصل، پرتو گردابی با همان بار توپولوژیکی خواهد بود در غیر این صورت، اگر 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 توسط رابطه (۴) شبیه‌سازی شد. هم‌چنین تیغه‌های در نظر گرفته شده با روش فتولیتوگرافی تهیه و در آزمایشگاه تحت چیدمان تداخل سنج ماخ زندر مطابق شکل (۱) مورد راستی آزمایی قرار گرفت.



شکل ۱: چیدمان آزمایشگاهی

در شکل ۳ (الف - ب)، توزیع شدت ناشی از برهم‌نهی دو پرتو گردابی به ترتیب حامل بارهای توپولوژیکی ۱،۲، ۱،۰، ۱،۰ را نشان می‌دهد که پرتو حاصل یک پرتو گردابی به ترتیب با بار توپولوژیکی غیر صحیح ۱/۲، ۳/۲، می‌باشد.

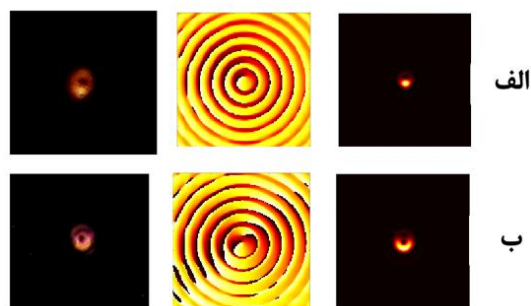
در مطالعه اول دو پرتو گردابی با بار توپولوژیکی یکسان هم از نظر اندازه و هم از نظر علامت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و شکل (۲) نتایج حاصل از این مطالعه را نشان می‌دهد، که به ترتیب شکل الف - ج پرتوهای اولیه با بار توپولوژیکی ۱، ۲، ۳، که پرتو حاصل یک پرتو گردابی با بار توپولوژیکی ۱، ۲، ۳، می‌باشد.

نتیجه گیری

در این مقاله بر هم نهی پرتوهای گردابی نوری حامل طیف های متنوعی از بارهای توپولوژیکی در تداخل سنج ماخ زندر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. طراحی این عناصر با استفاده از محاسبات انجام شده در نرم افزار متلب انجام گرفت. نتایج حاصل نشان داد که با استفاده از برهم نهی باریکه های گردابی نوری می توان تنوع بسیاری از پرتوهای گردابی حامل بارهای صحیح و کسری و همچنین باریکه های نوری در شکل های مختلفی همچون باریکه های گلبرگی و آرایه ی از نقاط کانونی را ایجاد کرد. نتایج شبیه سازی و تجربی نشان می دهد که حاصل برهم نهی دو باریکه گردابی در تداخل سنج ماخ زندر، پرتو گردابی است که، بار توپولوژیکی آن، میانگین بار توپولوژیکی دو پرتو اولیه و توزیع شدت آن تابع زاویه ی سمتی خواهد بود نتایج تجربی و شبیه سازی با تقریبی خوبی با هم هماهنگ هستند.

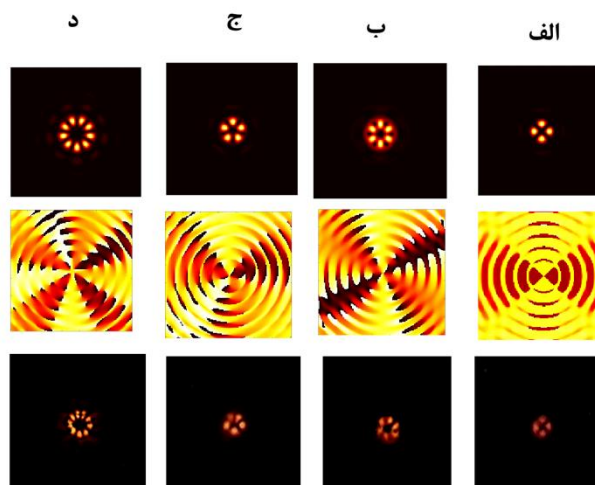
مرجع ها

- [۱] J.E Curtis, D.G Grier, Phys. Rev. Lett. ۹۰. ۱۳۳۹۰۱. ۲۰۰۳.
- [۲] J.W Goodman. *Introduction to Fourier optics*. ۳rd edition. Roberts & Company. ۲۰۰.
- [۳] A Sabatyan, & Z Behjat, The Annual Physics conference of Iran, Shiraz University. ۱۰۶۵. ۲۰۱۶.
- [۴] S Tao, J. Lin, & X. Peng, Fractional optical vortex beam induced particles. Opt. Express, vol. ۱۳, pp. ۷۷۲۶-۷۷۳۱. ۲۰۰۵.



شکل ۳: ستون اول: (شکل الف-ب) توزیع شدت ناشی از برهم نهی دو پرتو گردابی نوری، به ترتیب با بارهای توپولوژیکی ۱، ۰، ۱، ۰، ۱، ۰. ستون دوم: توزیع فاز متناظر با این توزیع شدت. ستون سوم: نتایج تجربی متناظر با نمونه های در نظر گرفته شده در شبیه سازی.

شکل ۴، نمونه ای دیگری از برهم نهی پرتوهای گردابی نوری را نشان می دهد، که بار توپولوژیکی پرتوها نسبت به هم علامت متفاوتی دارند در این صورت پرتوهای حاصل، به شکل پرتو گلبرگی مانند تشکیل می شود.



شکل ۴: ردیف اول: (شکل الف-د) توزیع شدت ناشی از برهم نهی دو پرتو گردابی نوری، به ترتیب با بارهای توپولوژیکی ۱، ۰، ۱، ۰، ۱، ۰، ۱، ۰، ۱، ۰، ۱، ۰. ردیف دوم: توزیع فاز متناظر با این توزیع شدت. ردیف سوم: نتایج تجربی متناظر با نمونه های در نظر گرفته شده در شبیه سازی.

بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران، ۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰