بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

خواص تصویرگیری غربال فوتونی با توزیع گاوسی چگال

ثریا جعفری، آرش ثباتیان و محمد رضا فصیحانی فرد

گروه فیزیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده- در این مقاله خواص تصویرگیری عنصر پراشی غربال فوتونی با توزیع گاوسی چگال و خاصیت چند کانونی بودن این عنصر نیز بصورت تئوری و تجربی بررسی شده است. خواص تصویرگیری این عنصر پراشی در کانون اصلی برای توزیع گاوسی چگال مختلف با تصویرگیری از خطوط موازی با فرکانس های فضایی مختلف بررسی شده است . نشان داده شد که با افزایش تعداد حلقه‌های روشن تا یک حد بهینه، تصویر واضح‌تر می‌شود. نتایج تئوری و شبیه سازی های کامپیوتری با نتایج تجربی بطور خوبی توافق دارند

کلید واژه- تیغه منطقه‌ای فرنل، عدسی پراشی، غربال فوتونی

Examination of imaging properties of Gaussian photon sieve

sorayya Jafari, Arash Sabatyan and Mohammad reza Fasihani fard

Department of Physics, University of Urmia, Urmia

Abstract- in this paper, imaging properties of a " Gaussian-based photon sieve ", and multifocal nature of this type of lens has been investigated theoretically and experimentally. Specifying the main focus of the lens, its imaging properties, in different Gaussian distributions, by imaging of lines with different cuts, is investigated. It was shown that by increasing the number of the cleared zone to optimize an image is clearer. Theory and computer simulation results agree well with the experimental results.

Keywords: Fresnel Zone Plate, Diffraction Lens, Photon Sieve

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

۱-مقدمه

تصویرگیری و کانونی کردن اشعه x، کاربردهای زیادی در علم زیست و فیزیک دارد همانند میکروسکوپ اشعه x با قدرت تفکیک بالا، اسپکتروسکپی، لیتوگرافی. شمار بزرگی از وسایل اپتیکی در ناحیه مرئی هستند که در طول‌موجهای کوتاه‌تر، اکثر جامدات، جاذب اشعه x هستند. به‌منظور غلبه بر این مشکل، عنصر پراشی به‌نام تیغه منطقه‌ای فرنل (FZP) معرفی شد. تیغه های منطقه ای ،عناصری پراشی هستند که از حلقه‌های دایروی متحدالمرکز با نواحی روشن و تاریک متناوب تشکیل شده‌اند.برای رفع محدودیت قدرت تفکیک، عنصر پراشی دیگری به‌نام غربال فوتونی، معرفی شد. این قطعه پراشی منجر به کاهش مراتب ناخواسته پراش و همچنین باعث کم شدن پهنای لکه مرکزی می‌شود[۱].اگر در FZP بجای مناطق روشن روزنه‌هایی تعبیه شود، قطعه‌ی پراشی حاصل شده، غربال فوتونی(PS)نامیده می‌شود. اخیرا چیدمان بدیعی از روزنه‌ها در PS معرفی شده است که در این چیدمان در بعضی از مناطق روشن روزنه ها همپوشانی می‌کنند ، این امر منجر به کاهش مراتب ناخواسته پراش و کاهش پهنای کل در نصف بیشینه اصلی می‌شود[۲].با افزایش تعداد مناطق روشن درPS ، بیشینه‌ی اصلی باریک‌تر شده و بیشینه‌های ثانویه رشد می کنند بطوریکه در نهایت به بیشینه‌ی اصلی ملحق می‌شوند و آن را پهن‌تر می‌کنند[۳]. در این مقاله به بررسی خواص تصویرگیری غربال فوتونی با استفاده از تصویر گیری از خطوط در کانون غربال فوتونی و بدست آوردن عدد بهینه مناطق روشن برای تصویر و همچنین خواص چند کانونی بودن این عنصر پراشی و بررسی تصاویر این کانون ها به صورت تئوری و تجربی پرداخته شد.

تئوری و شبیه سازی

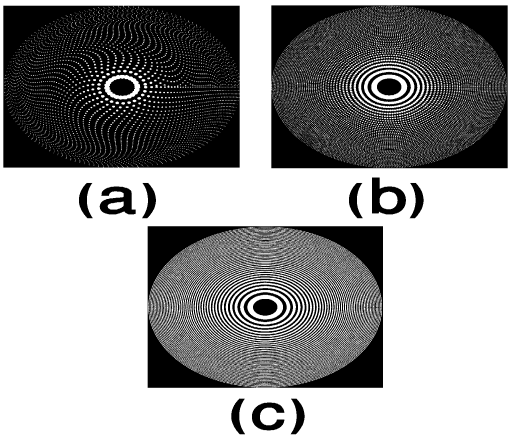
با استفاده از انتگرال فرنل – کیرشهف می توان میدان موج پراش یافته از شیئی دلخواه را به‌دست آورد.اگر شیئی با ضریب M(x',y') تحت تابش موج تخت قرار گیرد، دامنه‌ی میدان پراش یافته در فاصله‌ی z و تقریب فرنل از رابطه‌ی زیر حاصل می‌شود

$$u(x,y)=\frac{2\pi}{\lambda}\int M(x',y')\exp\left(\left(\frac{ik}{2z}(x-x')^2+(y-y')^2\right)dx'dy'\right. \quad (1)$$

که در این مقاله، تابع M(x',y') بوسیله روزنه‌های توزیع روی مناطق فرنل با استفاده از یک تابع گاوسی چگال ساخته شده است. یک توزیع گاوسی در حالت کلی از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$w_n = n_0\, e^{-\left(\frac{-(r_n-r_0)^2}{\alpha^2}\right)} \quad (۲)$$

که r_n شعاع n امین ناحیه، n_0, r_0, α پارامترهایی هستند که توزیع مطلوب را تعیین می‌کنند. توزیع چگال برای غربال فوتونی، توزیعی است که در آن تعداد روزنه‌ها به حدی است که در بعضی از نواحی همپوشانی کامل بین آنها رخ می‌دهد و با انتخاب پارامترهای گوسی مختلف (n_0, r_0, α) تعداد حلقه های روشن مختلف حاصل می شود.هفت نمونه از غربال‌های فوتونی با پارامترهای گاوسی (۱۵۰،۴۴،۱۰۰۰)، (۱۰۰۰و۴۴و۲۵۰)، (۱۰۰۰و۴۴و۴۵۰)، (۶۵۰،۴۴،۱۰۰۰)، (۸۵۰،۴۴،۱۰۰۰)، (۱۰۰۰،۴۴،۱۰۰۰)و (۱۲۰۰،۴۴،۱۰۰۰) به ترتیب با ۱، ۲، ۵، ۱۲، ۲۲، ۳۰و ۴۲حلقه روشن برای طول موج ۶۳۲.۸ nm و طول کانونی۵۰۰mm و با ۴۴ منطقه فرنلی با استفاده از کد متلب نوشته شده، تولید شد. شکل (۱) سه نمونه از غربال فوتونی با توزیع چگال مختلف روزنه‌ها نشان داده شده است. ، در این کار هدف پیدا کردن کانون اصلی و بررسی خواص تصویر گیری این نمونه‌ها با استفاده از تصویر گیری از خطوط موازی است.

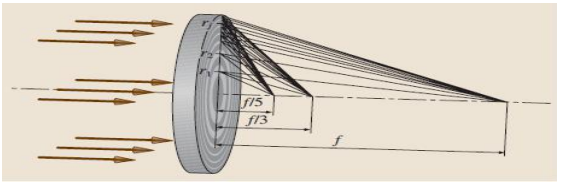


شکل (۱): نمایشی از ۳ غربال فوتونی گاوسی چگال شبیه‌سازی شده با پارامترهای (n_0, r_0, α). a:(۱۰۰۰و۴۴و۱۵۰)،b:(۱۰۰۰و۴۴و۴۵۰)،c:(۱۰۰۰و۴۴و۱۰۰۰)که به

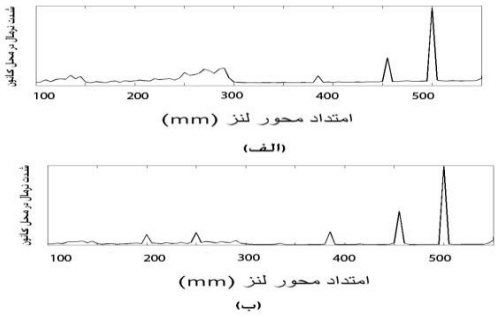
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

ترتیب با حلقه‌های روشن ۱، ۴، و۴۲می باشند.

تیغه‌ی منطقه ای فرنل یک لنز پراشی چند کانونی است که کانون ها در کسر های فردی از فاصله‌ی کانونی تشکیل می‌شود(شکل۲). نتایج شبیه‌سازی نشان میدهد که تا فاصله حدود ۵۰۰ میلیمتری از پشت لنز چهار کانون برای این لنزها بدست می‌آید. نمودار شدت لکه مرکزی کانون در فواصل مختلف پشت لنز توسط شبیه‌سازی رسم شد، شکل(۳). در طراحی این عناصر طول کانون ۵۰ سانتیمتری در نظر گرفته شده است و همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود پرشدت‌ترین کانون نیز در فاصله‌ی ۵۰ سانتیمتری پشت لنز تشکیل می‌شود. این نتیجه برای همه‌ی نمونه‌ها تکرار شد.



شکل(۲) نمایشی از خاصیت چند کانونی بودن FZP بر روی محور اپتیکی،که کانون ها در کسر های فردی از فاصله‌ی کانونی تشکیل می‌شود.

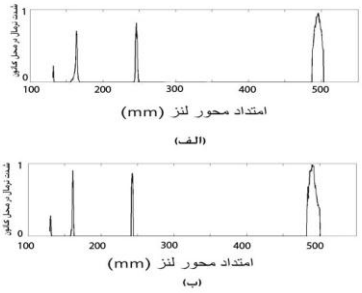


شکل (۳): نمودار شبیه سازی توزیع شدت کانون‌های لنز پراشی بر حسب فاصله‌ی این کانون‌ها از پشت لنز پراشی برای (الف) نمونه a و (ب) نمونه‌ی c در z=50cm پشت لنز پرشدت‌ترین کانون(کانون اصلی)لنز پراشی مشاهده می‌شود.

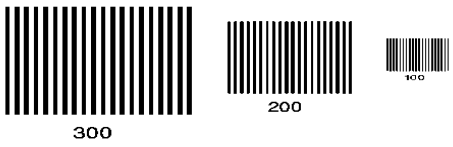
۲-بررسی تجربی

برای تائید نتایج تئوری به‌صورت تجربی، تصویرگیری از محل کانون در فاصله‌ی صفر تا ۶۰۰ میلیمتری پشت لنز، انجام شد. با رسم نمودار شدت لکه مرکزی کانون بر حسب فاصله از پشت لنز نمودار شکل (۴) بدست آمد که توزیع شدت محل کانون در فاصله‌ی صفر تا ۶۰۰ میلیمتری پشت لنز را نشان می‌دهد.

برای بررسی خواص تصویرگیری غربال‌های فوتونی خطوطی با پهنای ۱۰۰ ، ۲۰۰و ۳۰۰ میکرون طراحی شدند. بعد از طراحی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه image setter با رزولوشن ۳۶۰۰dpi نمونه‌ها روی کاغذ شفاف منتقل شدند. از چیدمانی که در شکل (۷) نشان داده شده است برای تصویرگیری از این خطوط استفاده شد.



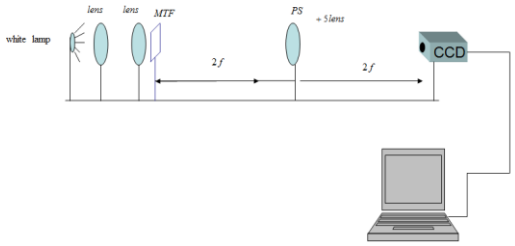
شکل (۴) نمودار تجربی توزیع شدت کانون‌های لنز پراشی بر حسب فاصله‌ی این کانون‌ها از پشت لنز پراشی برای (الف) نمونه‌ی a و(ب) نمونه‌ی c در z=500mm پشت لنز پرشدت‌ترین کانون(کانون اصلی)لنز پراشی مشاهده می‌شود



شکل(۵) نمایشی از خطوط طراحی شده با پهنای ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرون که از این خطوط با لنزهای پراشی طراحی شده تصویر گرفته شده است.

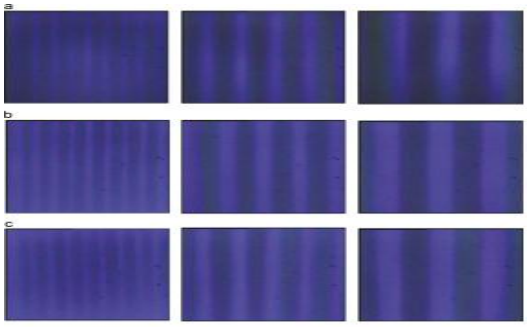
تصاویر گرفته شده از سه غربال فوتونی شکل(۱) با پارامترهای گوسی a (۱۰۰۰و۴۴و۱۵۰) ,b(۱۰۰۰و۴۴و۶۵۰) وc (۱۰۰۰و۴۴و۱۲۰۰)در شکل ۷ مشاهده می‌شود.

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



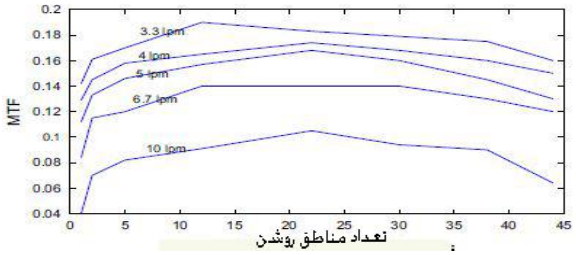
شکل (۶): چیدمان اپتیکی برای تصویرگیری از خطوط توسط غربال فوتونی.در چیدمان اپتیکی بالا اولین المان چشمه نور سفید است. لنز های اول و دوم از سمت چپ جهت موازی سازی پرتو نور سفید استفاده می‌شوند.جلوی عدسی دوم خطوطی که قرار است از آن تصویر گیری شود، قرار می‌گیرد. عدسی سوم همان لنز پراشی غربال فوتونی طراحی شده است که عمل تصویرگیری از خطوط را انجام می‌دهد. درنهایت CCD تصویر گرفته شده از خطوط را ثبت می‌کند.

با مقایسه تصاویر گرفته شده از این سه نمونه غربال فوتونی با خطوط با پهنای مختلف،مشاهده می‌کنیم که با افزایش تعداد حلقه‌های پر قدرت تفکیک تصویر تا یک عدد بهینه ای از مناطق روشن،بهتر می شود.



شکل (۷) تصاویر گرفته شده از خطوط ۲۰۰،۱۰۰و۳۰۰ میکرونی توسط غربالهای فوتونی با پارامترهای گاوسی مختلف a:(۱۰۰۰و۴۴و۱۵۰),b:(۱۰۰۰و۴۴و۶۵۰)وc:(۱۰۰۰و۴۴و ۱۲۰۰).

با مقایسه تصاویر گرفته شده از این سه نمونه غربال فوتونی با خطوط با پهنای مختلف،مشاهده می‌کنیم که با افزایش تعداد حلقه‌های پر قدرت تفکیک تصویر تا یک عدد بهینه ای از مناطق روشن بهتر می شود. برای محاسبه نمایانی تصاویر گرفته شده نمودار MTF بر حسب تعداد حلقه های روشن رسم شد..همان طور که دیده می شود با افزایش تعداد نواحی روشن،نمایانی تا حد بهینه ای افزایش یافته و پس از آن کاهش می یابد.(شکل (۸))



شکل (۸):نمودار MTF بر حسب تعداد حلقه های روشن.

۳-نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی خواص تصویرگیری غربال فوتونی با تورزیع گاوسی چگال در دو قسمت پرداخته شد. ابتدا تصویرگیری مربوط به کانون ها مختلف هر نمونه بررسی شد. با مقایسه تصاویر کانون های مختلف محل کانون اصلی مربوط به هر نمونه مشخص شد. کانون اصلی پر شدت ترین کانون و در فاصله ۵۰۰ میلیمتری قرار داشت.

سپس با استفاده از خطوط موازی با فرکانس های فضایی مختلف تصاویر مربوط به کانون اصلی گرفته شد. با محاسبه نمایانی تصاویر گرفته شده نمودار MTF برای هر نمونه رسم شد. مقایسه نمودارهای MTF نشان دادند که در نمونه‌های غربال فوتونی قدرت تفکیک تا یک حد بهینه از تعداد حلقه های روشن افزایش، و پس از آن کاهش میابد.

بنابراین عوامل موثر بررسی شده در افزایش قدرت تفکیک لنز ابتدا تصویر گیری با کانون اصلی لنز و سپس استفاده از توزیع مناسب روزنه با عدد بهینه مناطق روشن می باشند. کاربرد این پژوهش در ساخت لنز های پراشی با قدرت تفکیک بالاتر با استفاده از توزیع گاوسی معرفی شده است.

مراجع

[1] L. Kipp, M. Skibowski, R.L. Johnson, R. Berndt, R. Adelung, S. Harm, and R. Seemann," Sharper images by focusing soft X-rays with photon sieves, "Nature 414(6860), 184-188, (2001).

[2] A. Sabatyan, and S. Mirzaie, "Efficiency-enhanced photon sieve using Gaussian/ overlapping distribution of pinholes," Appl. Opt **50**, 1517-1522, (2011).

[۳] ثباتیان ،آرش؛ جعفری،ثریا، تاثیر پارامترهای توزیع روزنه ها بر خواص کانونی غربال فوتونی گاوسی چگال ،کنفرانس فیزیک ایران.(۱۳۹۱)

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