بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

# بررسی تغییرات محل کانون‌های غربال فوتونی تصحیح شده

آرش ثباتیان، هاله ابراهیمی

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه

**چکیده – در این مقاله، غربال فوتونی طراحی شده به چند ناحیه تقسیم شده که هر یک از این نواحی شامل حفره‌هایی با پهناهای متفاوت است. با تغییر در تعداد حفره ها در هر ناحیه، محل قرار گیری کانون تغییر می‌کند. با استفاده از این روش می‌توان عدسی با قابلیت کانونی کنندگی دوگانه را به دست آورد. هچنین با به کارگیری این روش شعاع عدسی و در نتیجه قدرت تفکیک آن افزایش می‌یابد. نتایج تجربی موید مطالعات شبیه سازی است.**

کلید واژه- تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل، حفره، غربال فوتونی، قدرت تفکیک ،کانونی کنندگی دوگانه

# Studying of foci locations of modified photon sieve

**Arash Sabatyan , Haleh Ebrahimi**

Department of physics, Faculty of science, Urmia university ,Urmia

Abstract- In this paper, the photon sieve designed is divided into regions, each of which includes holes with different widths. We demonstrate that the foci locations change by the varying the number of the holes in each area. This method can be achieved to a lens with double focusing properties. By applying this method also, the radius of the lens and resolution are increased. Simulation results are verified by experiments.

Keywords: double focusing properties, Fresnel zone plate, pinhole, photon sieve, resolution

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08 ]



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

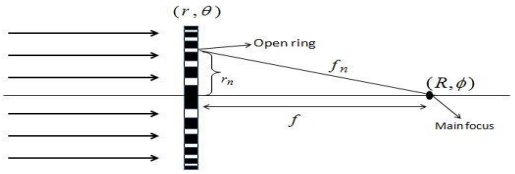
## ۱- مقدمه

غربال فوتونی یک تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل است که درآن توزیع مناسبی از حفره‌ها جایگزین مناطق روشن می شود. اساس کار غربال فوتونی نیز بر اساس تئوری پراش است. غربال فوتونی مزیت‌هایی نسبت به تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل دارد. یکی از این مزایا کاهش پهنای پرتو در نقطه کانون است. تاکنون مدل‌های بسیاری از این نوع لنز طراحی شده است. ما در این مقاله یک نوع غربال فوتونی طراحی می‌کنیم که علاوه بر افزایش شعاع که افزایش قدرت تفکیک لنز را به دنبال دارد، عدسی با دو کانون هم شدت داشته باشیم. همچنین با تغییر تعداد حفره ها محل قرارگیری کانون تغییر می کند[۱].

## ۲- طراحی و ساخت لنز

### ۲-۱- تئوری مقاله

یک تیغه منطقه‌ای فرنل با N نوار روشن را مطابق شکل زیر در نظر می‌گیریم :




شکل ۱: طرحی شماتیک از تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل [۲].

میدان پراش یافته از هر نوار روشن در نقطه کانون با حل انتگرال ریلی زامرفیلد و با استفاده از تقریب بسل به صورت زیر به دست می آید[۲]:

$$U_n(R)=\frac{2f}{f_n}\exp\left[k\left(f_n+\frac{R^2}{2f_n}\right)\right]J_0\left(\frac{kr_n}{f_n}R\right)\sin\left(\frac{kd_n}{2f_n}\right) \quad (۱)$$

که در آن $k=\frac{2\pi}{\lambda}$، $d_n$ نیم پهنای هر نوار روشن در مختصات s است. آرگومان مقدار حقیقی sin 0 یا $\pi$ است. در نتیجه برای داشتن مقدار مثبت میدان برای $f_n$ موقعیت های زیر خواهد بود:

$$f_n = f + m_n\lambda \qquad \sin(\frac{kd_n}{2f_n}) \succ 0 \qquad (۲)$$

$$f_n = f + (m_n+\frac{1}{2})\lambda \qquad \sin(\frac{kd_n}{2f_n}) \prec 0$$

$m_n$ مقدار صحیح مثبت است.کل المان عدسی را به N تا ناحیه تقسیم کرده و پهنای هر ناحیه را برابر $D_n$ قرار می‌دهیم. می‌توان نوشت:

$$\frac{2f}{f_n}\exp[jk(f_n-f)]\sin(\frac{kd_n}{2f_n})=\alpha D_n\exp(-\frac{s_n}{\sigma^2}) \quad (۳)$$

با محاسبات انجام شده و تقریب $\alpha=2\beta f\exp(s_1/\sigma^2)/(f_1D_1)$ می‌توان نیم‌پهنای هر نوار روشن را به صورت زیر به دست آورد[۲]:

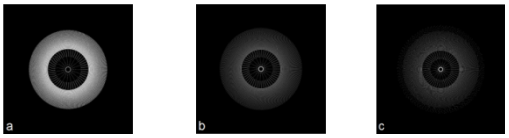
$$d_n=\frac{2f_n}{k}\left\{L\pi-a\sin\left[\beta\frac{D_nf_n}{D_1f_1}\exp(-\frac{s_n-s_1}{\sigma^2})\right]\right\} \quad (۴)$$

که L یک مقدار حقیقی مثبت است که برای L های فرد نقاط میانی هر نوار روشن برابر $s_n=(m_n\lambda)^2+(2m_n\lambda f)$ است و برای L های زوج نقاط میانی هر نوار روشن برابر $s_n=((m_n+.5)\lambda)^2+(2(m_n+.5)\lambda f)$ است. برای اینکه نور پراشیده شده از لبه‌ها متوقف شود مقدار $\sigma$ را تقریبا برابر نصف شعاع عدسی مورد نظر قرار می‌دهیم. پارامتر $\beta$ باید مقدار بین صفر و یک را به خود بگیرد. با در دست داشتن نیم‌پهنا و نقاط میانی نوارهای روشن، قطر حفره‌ها که برابر با پهنای نوارهای روشن است به دست می‌آید. با داشتن قطر روزنه‌ها غربال فوتونی طراحی می‌شود [۳].

### ۲-۲- شبیه سازی

کار شبیه سازی با برنامه‌ی MATLAB انجام شده است. برای طراحی ابتدا کل المان عدسی را به سه منطقه تقسیم کرده و پهنای نواحی مناطق اول، دوم و سوم به ترتیب برابر $4W_n$ ، $6W_n$ و $10W_n$ در نظر گرفته می‌شود. $W_n$ پهنای نوارهای تیغه‌ی منطقه‌ای فرنل است.

با در نظر گرفتن فاصله‌ی کانونی ۲۰۰ میلیمتر و طول موج ۶۳۲,۸ نانومتر برای سه شعاع ۷,۵، ۸,۵ و ۱۰,۵ میلیمتر غربال فوتونی شبیه سازی شده است. کم ترین قطر حفره‌ها به علت محدودیت در ساخت ۴۰ میکرومتر در نظر گرفته شده است. باید توجه کرد که رنج نوار ها در هر ناحیه را می‌توان تغییر داد به شرطی که پهنای اخرین نوار از ۴۰ میکرومتر کمتر نشود. در ابتدا تعداد نوارهای ناحیه‌ی سوم را بیشترین تعداد در نظر می‌گیریم که این ناحیه شامل تعداد قابل توجهی حفره است.

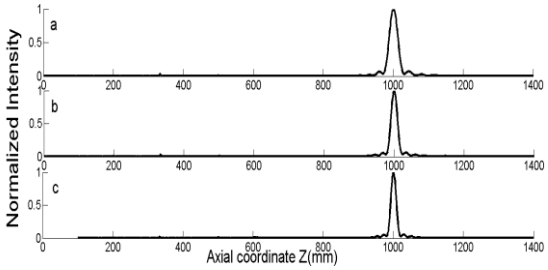




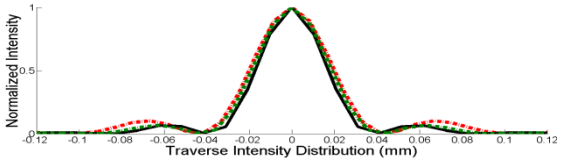

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08 ]

شکل ۲: غربال فوتونی با رنج اول نوارها a شعاع ۷٫۵ mm، b شعاع ۸٫۵ mm، c شعاع ۱۰٫۵ میلیمتر

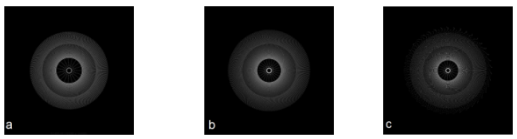



شکل ۳: توزیع شدت در راستای محور z برای عدسی ها با رنج اول نوارها: a شعاع ۷٫۵ mm، b شعاع ۸٫۵ mm، c شعاع ۱۰٫۵ میلیمتر

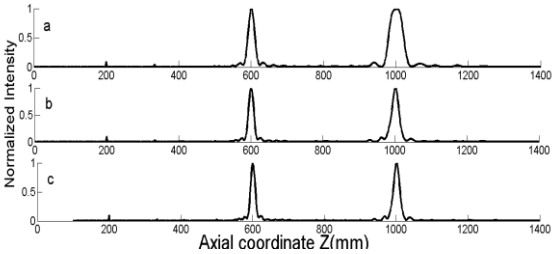



شکل ۴: توزیع شدت در نقاط کانون هرسه عدسی: نمودار مشکی مربوط به عدسی با شعاع ۱۰٫۵ میلیمتر و نمودارهای قرمز و سبز به ترتیب برای عدسی های به شعاع های ۷٫۵ و ۸٫۵ میلیمتر

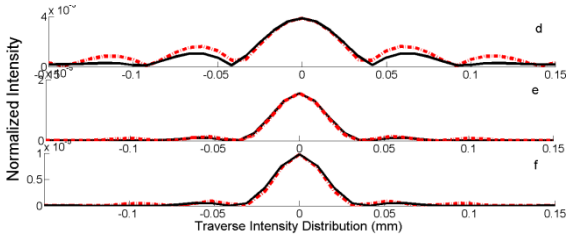
پهنای پرتو در نقاط کانونی در فاصله‌ی ۱۰۰۰ میلیمتری برای هر سه عدسی با شعاع های ۷٫۵، ۸٫۵ و ۱۰٫۵ میلیمتر به ترتیب برابر ۲۱٫۸۴، ۲۲٫۵۵ و۱۹٫۷۶ میکرومتر به دست می‌آید. حال رنج نوار ها را تغییر داده و تعداد نوارهای دوم و سوم را تقریبا یکسان درنظر گرفته و تعداد مشخصی حفره بر روی این نوارها توزیع می‌شود.




شکل ۵: غربال فوتونی با رنج دوم نوارها a شعاع ۷٫۵ mm، b شعاع ۸٫۵ میلیمتر c شعاع ۱۰٫۵ میلیمتر

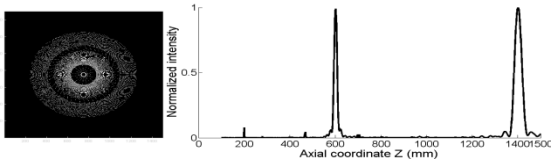



شکل ۶: توزیع شدت در راستای محور z برای عدسی ها با رنج دوم نوارها: a شعاع ۷٫۵ mm، b شعاع ۸٫۵ mm، c شعاع ۱۰٫۵ میلیمتر

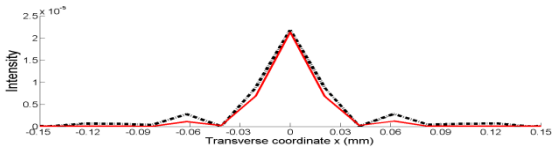



شکل ۷: توزیع شدت در نقاط کانون هرسه عدسی: d شعاع ۷٫۵ mm، e شعاع ۸٫۵ mm، f شعاع ۱۰٫۵ میلیمتر. نمودارقرمز توزیع شدت درکانون ۶۰۰ میلیمتر ونمودار مشکی مربوط به توزیع شدت در کانون ۱۰۰۰ میلیمتر است.

برای عدسی با شعاع ۱۰٫۵ میلیمتر به علت افزایش تعداد نوار ها و محدود بودن پهنای نوارها، وارد ناحیه چهارم می‌شویم و پهنای آن را برابر $14W_n$ قرار می‌دهیم. حال تعداد نوارها و تعداد حفره های نواحی دوم و چهارم را افزایش داده و نتایج را بررسی کردیم.




شکل ۸: غربال فوتونی با شعاع ۱۰٫۵ میلیمتر و توزیع شدت در راستای محور z

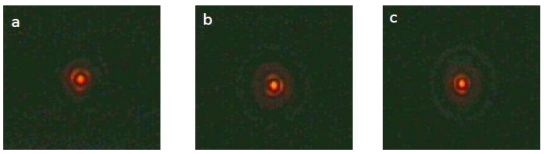



شکل ۹: توریع شدت در نقاط کانون عدسی: نمودار قرمز توزیع شدت در فاصله‌ی ۶۰۰ میلیمتر و نمودارخط چین مربوط به توزیع شدت در فاصله ۱۴۰۰ میلیمتر

درنتیجه‌ی تغییر در رنج نوارها و تعداد حفره‌ها محل کانون از ۱۰۰۰ میلیمتر به ۱۴۰۰ میلیمتر تغییر پیدا کرد و دارای شدت یکسان با کانون در ۶۰۰ میلیمتر است.

## ۳-۲- بررسی نتایج آزمایشگاهی

در آزمایشگاه این نمونه‌های طراحی شده در برابر نور لیزر هلیوم-نئون با طول موج ۶۳۲٫۸ نانومتر قرار داده شده و تصاویر نقاط کانون با دوربین ثبت شده است.

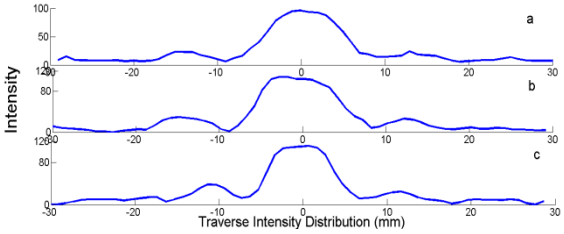





این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

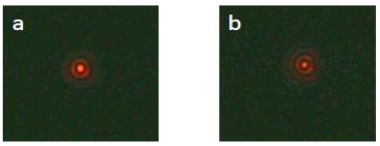
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08 ]

شکل ۱۰: نقطه‌ی کانون برای عدسی های با رنج اول نوارها a شعاع ۷,۵ mm، b شعاع ۸,۵ mm، c شعاع ۱۰,۵ میلیمتر

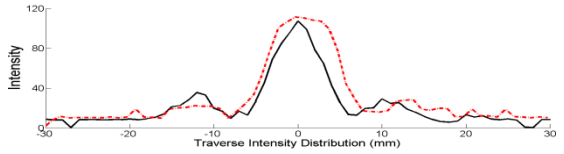



شکل ۱۱: توزیع شدت در نقاط کانون هرسه عدسی: a شعاع ۷,۵ mm، b شعاع ۸,۵ mm، c شعاع ۱۰,۵ میلیمتر.

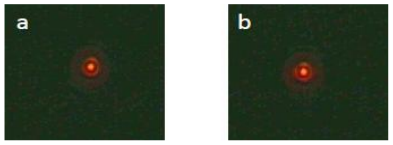
در نتایج تجربی پهنای پرتو در نقاط کانونی در فاصله‌ی ۱۰۰۰ میلیمتری برای هر سه عدسی با شعاع های ۷,۵، ۸,۵ و ۱۰,۵ میلیمتر به ترتیب برابر ۲۷,۷۲ ، ۲۵,۹۷ و ۲۳,۴۰ میکرومتر به دست می‌آید.



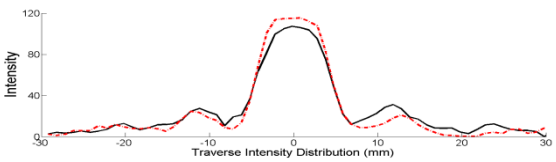

شکل ۱۲: نقاط کانون عدسی شعاع ۷,۵ میلیمتر: a نقطه‌ی کانون در۶۰۰ میلیمتر،b نقطه‌ی کانون در ۱۰۰۰ میلیمتر




شکل ۱۳: توزیع شدت در نقاط کانون عدسی: نمودار قرمز توزیع شدت در فاصله‌ی ۶۰۰ میلیمتر و نمودار مشکی مربوط به توزیع شدت در فاصله ۱۰۰۰ میلیمتر

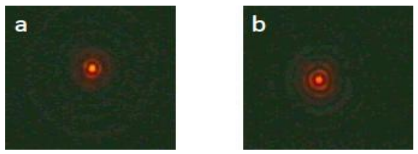



شکل ۱۴: نقاط کانون عدسی شعاع ۸,۵ میلیمتر: a نقطه‌ی کانون در۶۰۰ میلیمتر،b نقطه‌ی کانون در ۱۰۰۰ میلیمتر

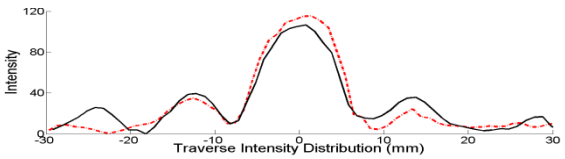



شکل ۱۵: توزیع شدت در نقاط کانون عدسی: نمودار قرمز توزیع شدت در فاصله‌ی ۶۰۰ میلیمتر و نمودار مشکی مربوط به توزیع شدت در فاصله ۱۰۰۰ میلیمتر

شکل




۱۶: نقاط کانون عدسی شعاع ۱۰,۵میلیمتر: a نقطه‌ی کانون در۶۰۰ میلیمتر،b نقطه‌ی کانون در ۱۰۰۰ میلیمتر




شکل ۱۷: توریع شدت در نقاط کانون عدسی: نمودار قرمز توزیع شدت در فاصله‌ی ۶۰۰ میلیمتر و نمودار مشکی مربوط به توزیع شدت در فاصله ۱۰۰۰ میلیمتر

## ۳- نتیجه‌گیری

در این طراحی می‌توان شعاع عدسی را با ثابت نگه داشتن پهنای آخرین نوار در هر ناحیه افزایش داد که با افزایش شعاع کاهش پهنا را در نقطه‌ی کانون را داریم که برای رنج اول نوارها، در شبیه سازی به اندازه ۱۲,۴ درصد و در تجربی به اندازه ۱۵,۶ درصد کاهش پهنا به دست آمد. با تغییر تعداد نوارها و حفره ها در هر ناحیه محل کانون تغییر می‌یابد. در رنج دوم نوارها می‌توان دو کانون با شدت‌های یکسان برای عدسی ها به دست آورد. برای عدسی با شعاع ۱۰,۵ میلیمتر که دارای ۴ ناحیه است می توان با تغییر رنج نوارها، دو بار دوکانون هم شدت به دست آورد. نتایج تجربی و شبیه سازی با هم مطابقت دارند.

## مراجع

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

[2] Q. Cao and J. Jahns , *Modified Fresnel zone plates that produce sharp Gaussian focal spots*, J. *Opt. Soc*. Am. A/Vol. **20,**No. 8/August, 1576-1581 (2003).

[3] sabatyan. A , Roshaninejad .P ," *super-resolving random-Gaussian apodized photon sieve* ," *Appl . Opt*. **51** ,6315 - 6318(2012).



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08 ]