



لیفن
اکسیلنس

بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



اثر فیلتر گاووسی بر خواص کانونی اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی

آرش ثباتیان و سید اکبر حسینی

دانشکده فیزیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

چکیده- اکسیلن عنصر پراشی است که خواص کانونی عدسی‌های کروی و عدسی‌های محور مخروطی را با هم دارد. عدسی‌های کروی قدرت تفکیک بالا و عدسی‌های محور مخروطی عمق کانونی بلندی دارند. با قرار دادن روزنه‌های غربال فوتونی منطبق بر حلقه‌های تاریک اکسیلن، یک اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی خواهیم داشت که قدرت تفکیک بالاتری نسبت به اکسیلن دارد. در این مقاله خواص کانونی اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی با دو توزیع کلاسیک و گاووسی حفظه‌ها با یکدیگر مقایسه شده‌اند. اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی با توزیع کلاسیک، تنها کمی قدرت تفکیک را افزایش می‌دهد، اما توزیع گاووسی با فیلتر کردن فرکانس‌های فضایی بالا، علاوه بر بالا بردن قدرت تفکیک، شدت کانون را تا حد خوبی ارتقا می‌دهد.

کلید واژه: اکسیلن، اکزیکن، عدسی محور مخروطی، غربال فوتونی.

Effect of Gaussian filter on focusing properties of axilens based photon sieve

Arash Sabatyan and Seyyed Akbar Hoseini

Department of Physics, University of Urmia, Urmia

Abstract: Axilens is a diffractive element that has focusing properties of spherical and conical lens. Spherical lens has high resolution and conical lens has high focal depth. By substituting apertures of photon sieve into the dark rings of axilens, we have axilens based photon sieve that has more resolution to axilens. In this paper, focusing properties of axilens based photon sieve with two classical and Gaussian distribution of apertures compared together. Axilens based photon sieve with classical distribution just enhanced the resolution power a few. But Gaussian distribution by filtering high space frequencies, in addition to increasing resolution power, enhanced the focal intensity.

Keywords: Axilens, Axicon, Conical lens, Photon sieve.

۱- مقدمه

را می‌توان محاسبه کرد که در این روابط $a = \frac{\delta f}{R^2}$ است حل با قرار دلن روزنهای غربال فوتونی منطبق بر حلقه‌های تاریک اکسیلن، یک اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی خواهیم داشت که به اختصار آن را APS^۵ می‌نامیم در مقایسه عملکرد اکسیلن و اکسیلن بر پایه غربال فوتونی، نمونه اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی با توزیع کلاسیک(چگالی حفره‌ها در طراحی اکسیلن بر div=۱۶m) که در این رابطه شماره منطقه فرنل است در نظر گرفته شد) مقداری قدرت تفکیک اکسیلن را با کاهش ماقریزم‌های ثلویه افزایش ولی با کاهش شدت کمی هم عمق کلونی را کاهش می‌دهد[۴] گرچه اکسیلن بر پایه غربال فوتونی با توزیع کلاسیک پیکهای ثلویه را کم می‌کند و بدین ترتیب کمی قدرت تفکیک را افزایش می‌دهد ولی با کاهش شدت عمق کلونی را ندکی کاهش می‌دهد برآینم که توزیع جدیدی از حفره‌ها را لارله دهیم که این مشکل را تا حدودی حل کند با این وجود که غربال فوتونی اسلسا فاز را تغییر نمی‌دهد می‌توان با دستکاری فرکنسهای فضایی، خواص کلونی را تغییر داد مثلاً می‌توان قدرت تفکیک را بدون کاهش در عمق کلونی زیاد کرد. این توزیع جدید به فرم کلی

$$w_n = n_0 \exp\left(-\frac{(r_n - r_0)^2}{\alpha^2}\right) \quad (6)$$

معرفی می‌شود که λ شعاع ناحیه اکسیلن است و پارامترهای n_0 و α قبل تغییرنده توزیع کلونی معرفی شده به عنوان یک فیلتر پایین گذر عمل می‌کند و به حذف فرکنسهای فضایی بالا می‌پردازد حال باید ضرایب را به صورت مناسبی اختیار کنیم که نمونه‌ای با بهترین عملکرد بدست آید.

۲- طراحی و شبیه‌سازی

اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی با مشخصات $R=7/5\text{ mm}$ $d=3\text{ mm}$ $f=835\text{ mm}$ ^۶ با توزیع کلاسیک و سه نمونه گاوی (GAPS)^۷ با مقادیر $n_0=850$ و $n_0=1000$ و $n_0=85$ طراحی شد[۵] (شکل ۱). به علت پیچیده بودن تلغی عبور اکسیلن برای شبیه‌سازی از ابزار تبدیل فوریه سریع FFT^۸ در نرم افزار متلب[۶] استفاده شد. برای محاسبه ترسیم توزیع شدت محوری، ابتدا روی بازه مورد نظر در فواصل ۱ میلی‌متری به وسیله ابزار تبدیل فوریه سریع همتافنگی^۹ محاسبه شد و از هر بر محاسبه همتافنگی، دامنی مربوط به محور اپتیکی جدا شده و بر حسب فاصله از نمونه رسم شد.

با کشف پرتو X زمینه‌های کاربردی زیادی هم برای آن پیدا شد که نیاز به ایزراهای اپتیکی مخصوص به خود داشت عدسی‌های شکستی به خاطر جنب بلای پرتو X جای خود را به عدسی‌های پرشی داده و تولایی‌های عملی زیادی را در علوم تحقیقات، پژوهشی و صنعت نشان داده‌اند. اولین نمونه از عدسی‌های پرشی را فرنل راکه داد که تیغه منطقه‌ای فرنل^۱ نام دارد و توزیع فاری آن به شکل

$$\varphi(r) = \frac{2\pi r^2}{\lambda a^2} \quad (1)$$

است. کیپ و همکارانش در سال ۲۰۰۱ توزیعی را لارله دادند که با تعییه روزنه‌ها بر حلقه‌های تاریک تیغه منطقه‌ای فرنل، باعث افزایش قدرت تفکیک تیغه منطقه‌ای فرنل شد[۱]. این نوع عدسی به خاطر ظاهر شیشه‌ای غربال فوتونی^۲ نام گرفت. تلغی پلخ غربال فوتونی از تیغه منطقه‌ای فرنل کمتر است و به همین دلیل باعث کاهش شدت می‌شود در بعضی زمینه‌های کاربردی نیاز به عمق کلونی بلند هست در حالی که عدسی‌های پرشی کروی با توزیع فاری رابطه ۱، عمق کلونی بسیار کمی دارند.

مکنید در سال ۱۹۵۴ آگریکن^۳ را به عنوان یک عدسی محور مخروطی معرفی کرد[۲] که دارای عمق کلونی بلند و قدرت تفکیک پایین است. توزیع فاری این عنصر به صورت خطی و به شکل

$$\varphi(r) = \frac{\pi r}{\lambda a} \quad (2)$$

است که ضریب a در این رابطه عمق کلون را تعیین می‌کند. عمق کلون در این نوع عدسی به شکل $z < aR$ است که z در آن فاصله محوری از عدسی و شعاع عدسی است. فریزم و همکاران در سال ۱۹۹۱ توزیع فاری کروی جدیدی را بر اساس وابستگی فاصله کلونی به شعاع لارله دادند[۳] که خصوصیات تفکیک بالای عدسی‌های کروی و عمق کلونی عدسی‌های محور مخروطی را داراست. این عدسی کروی اکسیلن^۴ نام دارد و توزیع فاری آن به شکل

$$\varphi(r) = \frac{\pi}{\lambda} \frac{r^2}{f_0 + \frac{\delta f}{R^2} r^2} \quad (3)$$

است که پارامترهای ثابت در آن طول موج (λ)، شعاع(R)، ابتدای کلون (f_0) و عمق کلون (δf) است. تعداد حلقه‌ها را از رابطه

$$N_{max} = \frac{R^2}{\lambda(f_0 + aR^2)} \quad (4)$$

و شعاع حلقه‌ها

$$r_N = \sqrt{\frac{N\lambda f_0}{1 - N\lambda a}} \quad (5)$$

^۵ Axilens based photon sieve

^۶ Gaussian axilens based photon sieve

^۷ Fast fourier transform

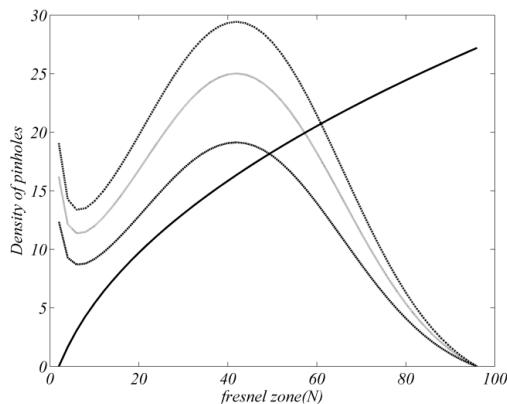
^۸ Convolution

^۱ Fresnel zone plate

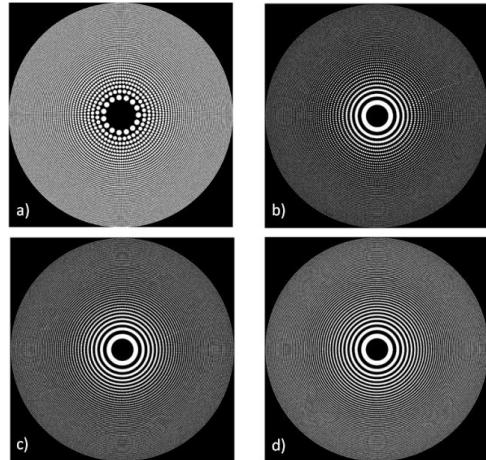
^۲ Photon sieve

^۳ Axicon

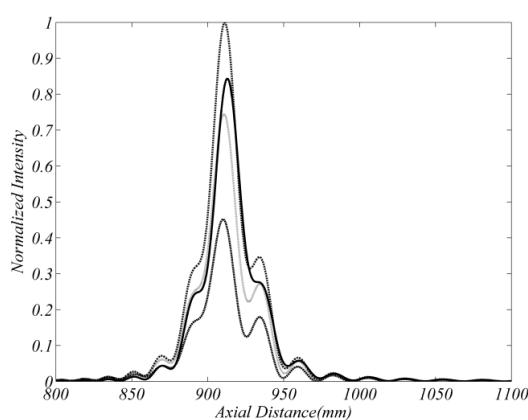
^۴ Axilels



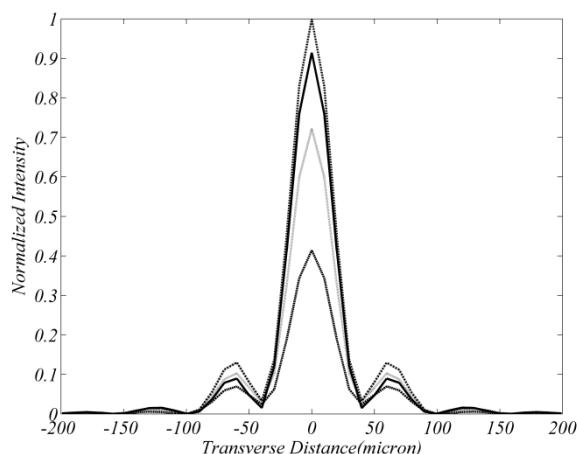
شکل ۲: مقایسه چگالی روزنه‌های APS: اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی با توزیع کلاسیک(خط ممتد)، توزیع گاووسی با $n_0=650$ -چین)، توزیع گاووسی با $n_0=850$ (نقطه‌چین)، توزیع گاووسی با $n_0=1000$ (خط-نقطه).



شکل ۱: نمونه‌های طراحی شده: اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی با توزیع (a) کلاسیک (b) گاووسی (c) $n_0=650$ (d) $n_0=850$ (e) گاووسی $n_0=1000$.



شکل ۳: شبیه‌سازی عددی توزیع شدت محوری، اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی با توزیع کلاسیک(خط ممتد)، توزیع گاووسی با $n_0=650$ (خط‌چین)، توزیع گاووسی با $n_0=850$ (نقطه‌چین)، توزیع گاووسی با $n_0=1000$ (خط نقطه).

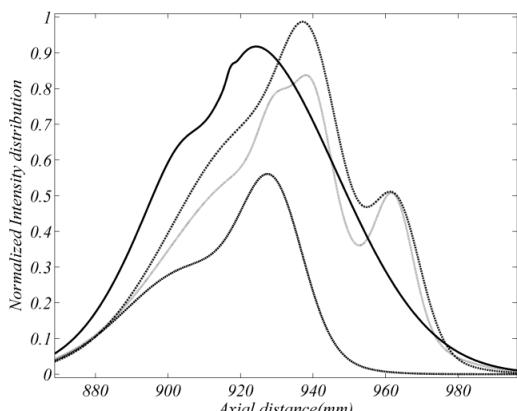


شکل ۴: شبیه‌سازی عددی توزیع شدت عرضی، اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی با توزیع کلاسیک(خط ممتد)، توزیع گاووسی با $n_0=650$ -خط-

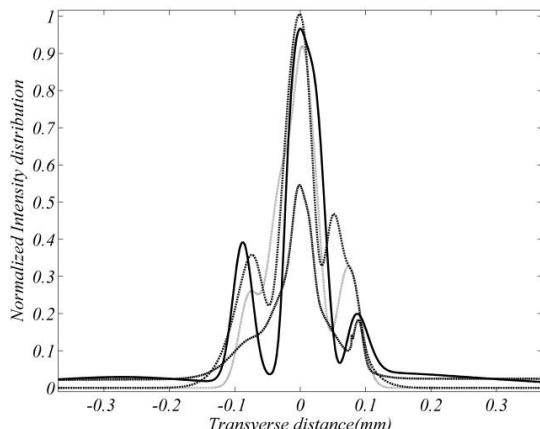
با توجه به شکل ۱ با افزایش ضریب n_0 درتابع توزیع روزنه‌های GAPS تعداد حلقه‌های همپوشانی شده افزایش می‌یابد. در شکل ۲ تابع چگالی روزنه نمونه‌های طراحی شده محاسبه و ترسیم شده است. نمونه کلاسیک با خط ممتد، نمونه گاووسی $n_0=650$ با خط‌چین، نمونه گاووسی $n_0=850$ با نقطه‌چین و نمونه گاووسی $n_0=1000$ با خط-نقطه نشان داده شده است. در شکل ۳ شبیه‌سازی توزیع شدت محوری به ازای $\theta=0^\circ$ بر حسب فاصله محوری از نمونه، برای سه نمونه گاووسی و نمونه کلاسیک ترسیم و با هم مقایسه شده‌اند. در شکل ۴ شبیه‌سازی توزیع شدت عرضی سه نمونه گاووسی و نمونه کلاسیک در صفحه کانونی اصلی ترسیم و با هم مقایسه شده‌اند. توزیع شدت محوری در شکل ۳ نسبت به کانون اصلی ($Z=915\text{mm}$) تقارن ندارد و نمونه‌های گاووسی بعد از کانون اصلی یک پیک کوچکتر به شکل زانو دارند. در شکل ۴ توزیع شدت عرضی در صفحه کانونی به علت تقارن محوری (رابطه توزیع فازی تنها تابع شعاع است و متغیر زاویه‌ای سمتی ندارد) در توزیع فازی، نسبت به محور اپتیکی ($\theta=0^\circ$) دارای تقارن است. در شکل ۵ نمودار تابع انتقال اپتیکی بهنجار⁹ (OTF) سه نمونه گاووسی و نمونه کلاسیک با هم مقایسه شده‌اند.

⁹ Optical transfer function

اختلاف رفتار نمودارهای تجربی و شبیه‌سازی به علت خطلهای حین ساخت نمونه‌ها و لیهای جزئی در چیدمان آزمایشگاهی است.



شکل ۶: توزیع شدت محوری تجربی، اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی با توزیع کلاسیک(خط ممتد)، توزیع گاوسی با $n_0=650$ (خط چین)، توزیع گاوسی با $n_0=850$ (نقطه چین)، توزیع گاوسی با $n_0=1000$ (خط نقطه).



شکل ۷: توزیع شدت عرضی تجربی، اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی با توزیع کلاسیک(خط ممتد)، توزیع گاوسی با $n_0=650$ (خط چین)، توزیع گاوسی با $n_0=850$ (نقطه چین)، توزیع گاوسی با $n_0=1000$ (خط نقطه).

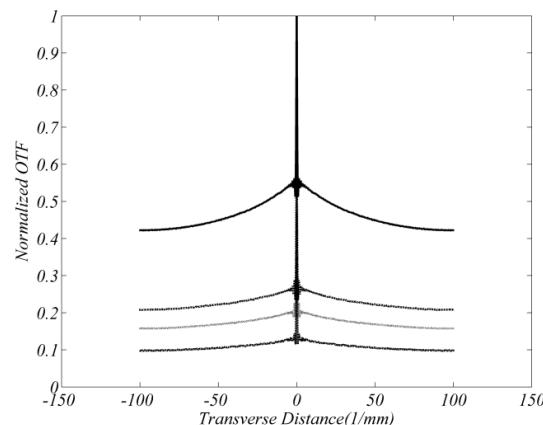
۵-مراجع

- [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] J. H. McLeod, "The Axicon: A New Type of Optical Element," *J. Opt. Soc. Am.* 44, 592 (1954).
- [3] N. Davidson, A. A. Friesem, and E. Hasman, "Holographic axilens: high resolution and long focal depth," *Opt. Lett.* **16**, 523-525 (1991).
- [4] ثباتیان، آرش؛ حسینی، سید اکبر، طراحی اکسیلن بر پایه غربال فوتونی، نوزدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران به همراه پنجمین کنفرانس مهندسی فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۹۱ بهمن
- [5] Soifer, V.A., Computer design of diffractive optics, Oxford cambridge Philadelphia New Delhi, 2013.
- [6] Voelz, David George, Computational fourier optics : a MATLAB tutorial, SPIE P.O. Box 10, Bellingham, Washington, 2011.

چین)، توزیع گاوسی با $n_0=850$ (نقطه چین)، توزیع گاوسی با $n_0=1000$ (خط نقطه).

۳-نتایج تجربی

آزمایش با چیدمان تصویرگیری همدوش و با منبع نور لیزر جلد As در طول موج 635nm انجام شد. ابتدا نور به کمک فیلتر فضایی صاف و پهن شد و نور پهن شده با یک عدسی محدب به فاصله کلوفنی 1m تخت شد سپس به وسیله 10^{CCD} از فاصله 870 تا 995 میلی‌متر در فواصل 1 میلی‌متری تصویر تهیه شد از تصاویر تهیه شده به وسیله CCD برای ترسیم نمودارهای توزیع شدت محوری و عرضی و تعیین عمق کلوفنی استفاده شد در شکل ۶ توزیع شدت محوری تجربی سه نمونه گاوسی و نمونه کلاسیک با هم مقایسه شدند. در شکل ۷ توزیع شدت عرضی تجربی سه نمونه گاوسی و نمونه کلاسیک در صفحه کلوفنی اصلی ترسیم و با هم مقایسه شدند.



شکل ۵: محاسبه عددیتابع انتقال اپتیکی بهنجر(OTF)، اکسیلن بر پایه‌ی غربال فوتونی با توزیع کلاسیک(خط ممتد)، توزیع گاوسی با $n_0=650$ (خط چین)، توزیع گاوسی با $n_0=850$ (نقطه چین)، توزیع گاوسی با $n_0=1000$ (خط نقطه).

۴-نتیجه‌گیری

با مقایسه نمودارهای تجربی و شبیه‌سازی، تطلق نتیجه نسبی در تراز نمایه‌های محوری و عرضی توزیع شدت برقرار است که به نوبه خود فرضیات اولیه در طراحی و نتایج محلسلات را تایید می‌کند با توجه به تغییرات شعاعی نمودار انتقال(شکل ۵)، نمونه‌های اکسیلن بر پایه غربال فوتونی با توزیع گلوسی، فرکلنهای فضایی بالاتر را بهتر فیلتر می‌کند رهیافت برای جبران افت شدت غربال فوتونی در این مقاله استفاده از توزیع گلوسی حفره‌ها بود که با فیلتر کردن فرکلنهای فضایی بالا شدت را در یک مرکزی افزایش داده و پیکهای ثلویه را کلہش می‌دهد بدین ترتیب ضمن افزایش چگالی روزنه‌ها و افزایش شدت، قدرت تفکیک نمونه‌های اکسیلن بر پایه غربال فوتونی با توزیع گلوسی نسبت به توزیع کلاسیک بهبود نسبی پیدامی کند.