بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بررسی خواص کانونی اگزیکن پراشی اصلاح شده با استفاده از توزیع گاوسی ریز روزنه ها

آرش ثباتیان؛ محسن صدرمحمدی

دانشگاه اورمیه، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده - نور کانونی شده با استفاده از اگزیکن پراشی عادی شامل ابیراهی‌ها و شدت‌های مزاحم و ناخواسته است. در این مقاله سعی شده است با ایجاد تغییر در طراحی و ساخت آن، این عنصر پراشی را تصحیح کنیم. حذف یا فیلتر حلقه‌ی اگزیکنی وجایگزین کردن ریز روزنه هایی با شعاع های متغیر گاوسی و پراکنش این ریز روزنه ها با آرایش گاوسی در محل روزنه حلقه ای اگزیکنی حذف شده از جمله این تغییرات است. در ادامه ضمن بررسی تاثیر این تغییرات کانون حاصل از اگزیکن تصحیح شده باکانون حاصل از اگزیکن پراشی عادی مورد مقایسه قرار می گیرد.

واژگان کلیدی: آپودایز(پیرایش)، اگزیکن پراشی، باریکه بسلی، ریز روزنه

Study of Focal Property of Diffractive Axicon Apodized with Gussian Pinholes

Arash Sabatyan, Mohsen sadrmohamadi

Urmia University, faculty of Science, Department of Physics

Abstract- To reduce aberration and eliminating extremely annoying and unwanted peak caused by normal diffractive axicon form Annular Aperture, changes in design and fabrication. Which we review in this paper the impact of these changes and compared with normal diffractive axicon. These changes include removing or filtering axicon ring than replacing the pinholes with Gaussian variable radius and pinholes Gaussian distributed.

.Key words: Apodization, Bessel beam, Diffractive Axicon, Pinhole

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

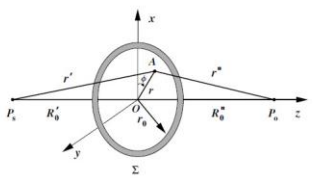
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱ ـ مقدمه

اگزیکن قطعه اپتیکی است که در امتداد محور اپتیکی خط کانونی تولید می کند.عمق کانونی می تواند از چند میلیمتر تا چندین متر باشد. موجی که از اگزیکن حاصل می شود یک باریکه بسلی [۲](رابطه۱) است که به موج غیر پراشی معروف است.

$$E(r,\phi,z) = A_0 e^{ik_z z} J_0(k_r, r) \qquad (۱)$$

در رابطه بالا E میدان، A_0 دامنه موج، J_0 تابع بسل نوع اول مرتبه صفرم است. یکی از مزیت هایی که باریکه بسلی به واسطه آن کاربردهای زیادی در صنعت ، پزشکی و دیگر زمینه ها پیدا می کند این خاصیت است که به تبدیل فوریه اش بسیار نزدیک است یعنی در عبور از قطعات اپتیکی مختلف تغییر چندانی در آن بوجود نمی آید[۲]. ذکر این نکته بسیار مهم است که در میدان دور فاصله بین بردارهای موج بسلی افزایش می یابد و از شدت باریکه در مرکز کاسته می شود تا زمانی که کاملا حذف شود که در حالت به شکل موج حلقه ای در می آید. پس باریکه حلقه ای، حالت خاصی از باریکه بسلی می باشد که در فاصله دورترنسبت به صفحه روزنه تشکیل می شود. از انواع اگزیکن می توان به اگزیکن شکستی و بازتابی مخروطی شکل اشاره کرد[۳]. یکی دیگر از انواع اگزیکن با تبدیل فوریه گیری از روزنه حلقه ای باریک حاصل می شود[۳]. نوع دیگری که در این مقاله مورد مطالعه قرار می گیرد نوع پراشی اگزیکن می باشدکه به شکل توری پراشی حلقه ای است . با توجه به شکل۱ نور حاصل از منبع نوری P_s پس از برخورد به روزنه حلقه ای پراشیده شده و با استفاده [۱] از انتگرال پراش فرنل (رابطه۲-آ) میدان موج پراش یافته(رابطه ۲-ب) را در محل P میتوان محاسبه کرد.



شکل ۱ - پراش از روزنه حلقه ای

$$E(P_0) = -\frac{ia_0}{\lambda}\iint_{\Sigma} t(x,y)\,Q(r)\,\frac{e^{ik(r'+r'')}}{r'r''}\,ds \qquad (آ-۲)$$

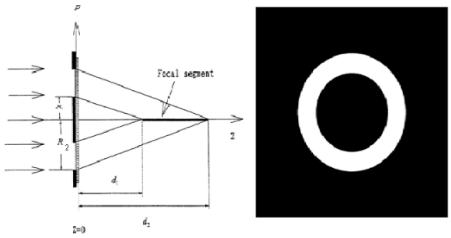
در رابطه فوق عامل($a_0\frac{e^{ikr'}}{r'}$) میدان موج برخورد کننده به روزنه ، ($a_0\frac{e^{ikr''}}{r''}$) موج کروی هویگنس، a_0 دامنه موج کروی، $t(x,y)$ تابع روزنه، $Q(r)$ ضریب کجی و λ طول موج است. درنتیجه[۱] داریم:

$$E_0 = a_0\frac{e^{ik(R_0'+R_0'')}}{R_0'+R_0''} \qquad (ب-۲)$$

۲--طراحی وشبیه سازی

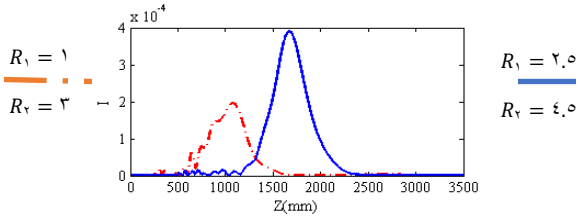
۲-۱- اگزیکن پراشی عادی

عواملی که در ساخت انواع اگزیکن های پراشی عادی (شکل-۲) موثر هستند و تغییر در این عوامل، مشخصات شدت و کانون حاصل از اگزیکن را تغییر می دهد عبارت اند از شعاع داخلی(R_1) ، شعاع خارجی(R_2) و پهنای روزنه حلقه ای اگزیکنی.



شکل ۲ - اگزیکن پراشی عادی

مشاهده شده (شکل ۳) که با تغییر در شعاع داخلی و خارجی در پهنای ثابت محل تشکیل کانون نسبت به مکان قطعه اپتیکی تغییر خواهد کرد.

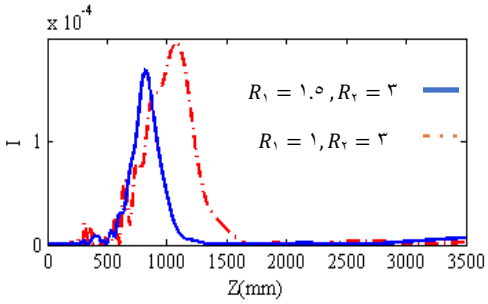


شکل۳- شدت در امتداد محور اپتیکی

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

به گونه ای که زمانی که شعاع حلقه اگزیکنی کوچک باشد در فاصله نزدیک تر به صفحه روزنه کانون تشکیل می شود ولی حلقه های اگزیکنی با شعاع بزرگ کانون را در فواصل دورتر از صفحه روزنه تشکیل می دهند.

همچنین با کم و زیاد شدن پهنای حلقه اگزیکنی، طول عمق کانونی تغییر خواهد یافت(شکل ۴) به این صورت که در پهنای کم ، عمق کانون کوتاه تری داریم و در پهنای بزرگتر عمق کانونی بلند تر است.

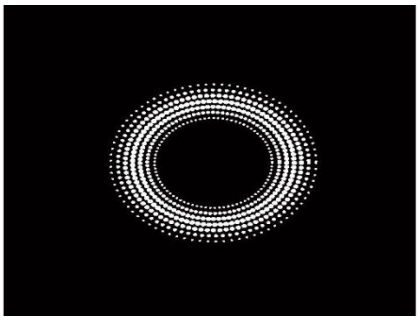


شکل ٤- پهن شدگی نمودار معیاری از عمق کانونی است.

لازم به ذکر است که افزایش وکاهش پهنای حلقه تا میزان محدودی امکان پذیر است که با بیشتر یا کمتر شدن این میزان با رشد پیک های مزاحم، کاهش شدید شدت، عبور فرکانس های فضایی بالا مواجه خواهیم شد.

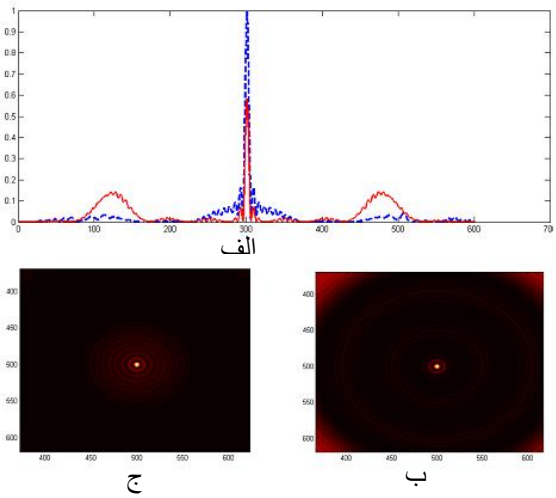
۲-۲-اگزیکن پراشی پیرایش شده توسط ریز روزنه ها

اما شدت حاصل شده از اگزیکن پراشی عادی خالی از اشکال نیست؛ وجود پیک های جانبی برای حالتی که باریکه به شکل بسلی کانونی می شود و وجود شدت در نواحی مرکزی در حالتی که باریکه به شکل حلقه‌ای کانونی می شود ؛ حالت های نامطلوب برای باریکه حاصل شده از اگزیکن پراشی عادی می باشد که بسلی بودن آن را مخدوش می کند. به همین دلیل با تکنیک Apodization یا پیرایش روزنه که تابع عبور روزنه را تغییر می دهد، باریکه های به وجود آورنده این پیک ها را فیلتر می کنیم. ما این کار را با حذف حلقه اگزیکنی و جایگزین کردن ریز روزنه ها(pin hole) با شعاع ها و پراکندگی های مختلف که از تابع گاوسی پیروی می کنند در محل حلقه اگزیکنی؛ انجام می دهیم.



شکل۵- اگزیکن پراشی پیرایش شده

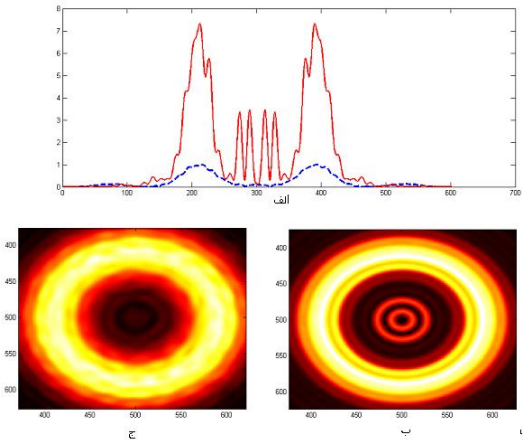
همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده نور فقط از ریز روزنه ها عبور کرده و بقیه موج برخورد کننده به صفحه روزنه توسط نواحی کدر فیلتر می شود. نتیجه تکنیک پیرایش در شکل ۶ نمودار شدت عرضی مقایسه شده با حالت پیرایش نشده آورده شده.



شکل۶-الف- نمودار با رنگ قرمز از نمونه پیرایش نشده و نمودار آبی از نمونه پیرایش شده بدست آمده. ب-شدت شبیه سازی شده برای حالت پیرایش نشده. ج-شدت شبیه سازی شده برای حالت پیرایش شده

در شکل بالا که باریکه به صورت بسلی کانونی شده است دیده می شود در حالت پیرایش نشده (نمودار قرمز) در نواحی جانبی با بیشینه های مزاحم مواجه هستیم که با بسلی بودن باریکه مغایر است که این عدم تطابق در شکل ۶-ب کاملا محسوس است در حالی که برای حالت پیرایش شده (نمودار آبی) بسلی بودن باریکه برقرار است و شدت های جانبی حذف شده است و در شکل ۶-ج نیز که از شبیه سازی توسط نرم افزار MATLAB بدست آمده و شکل موج نمودار آبی رنگ است بسلی بودن باریکه کانونی شده مشهود است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]

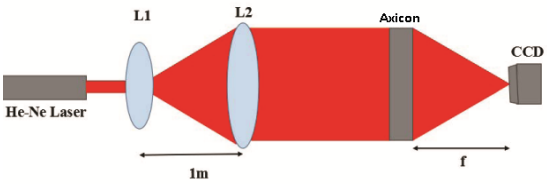


شکل ۷-الف- نمودار با رنگ قرمز از نمونه پیرایش نشده و نمودار آبی از نمونه پیرایش شده بدست آمده. ب-شدت شبیه سازی شده برای حالت پیرایش نشده. ج-شدت شبیه سازی شده برای حالت پیرایش شده

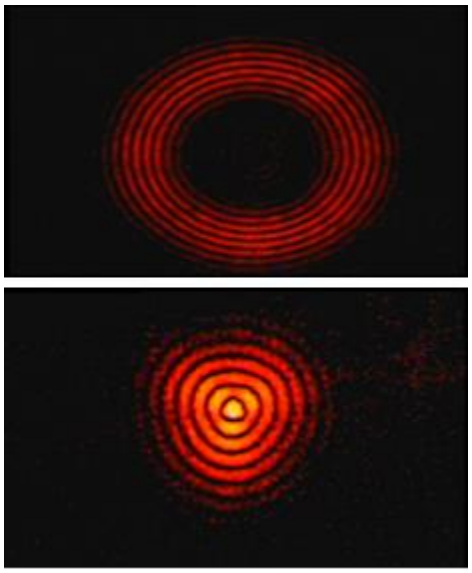
با توجه به شکل ۷ میبینیم که با اینکه شدت برای نمونه پیرایش شده نسبت به نمونه پیرایش نشده کم شده، ولی پیک های مزاحم در وسط حذف شده و باریکه به صورت حلقه ای کانونی شده است و همچنین نوسان شدت روی پیک های اصلی کمتر شده که نشان دهنده فیلتر شدن فرکانس فضایی بالا در نمونه پیرایش شده دارد.

۳-نتایج تجربی

لنز های پراشی طراحی شده با نرم افزار MATLAB که نمونه آن در شکل های ۲و۵ آمده است را بر روی سطح شفاف لیتوگرافی می کنیم سپس توسط چیدمان زیر(شکل۸):



شامل لیزر He-Ne با طول موج ۶۳۲nm که نور لیزر به کمک فیلتر فضایی صاف و پهن شد که در ادامه با عدسی به فاصله کانونی ۱m تبدیل به موج تخت می کنیم و با همین موج تخت نمونه ها را نور دهی می کنیم و موج حاصل شده را توسط CCD در فاصله های مختلف در امتداد محور اپتیکی تصویر گیری می کنیم.



شکل ۹- تصویر بالایی باریکه به صورت حلقه ای کانونی می شود و تصویر پایینی باریکه به صورت بسلی کانونی شده

۴-نتیجه گیری

نتایج تجربی نشان دهنده حذف شدت های مختل کننده تابع بسلی و شدت های نامطلوب هستند. و مطابقت نسبتاً خوبی با نتایج شبیه سازی شده دارند. در مجموع نتایج نشان دهنده این است که توانستیم به روش آپودایز کردن توسط ریز روزنه ها با آرایش گاوسی، برای از بین بردن پیک های اطراف موج بسلی و حذف پیک های شدت نوسانی در وسط باریکه حلقه ای فیلتری بسازیم که می تواند شدت عرضی و محوری حاصل از اگزیکن پراشی را اصلاح نماید.

مراجع:

[۱] Sharma K., *Optics Principles and Applications*, *p.* ۳۵۹, Elsevier Academic Press, ۲۰۰٦.

[۲] Duocastella M., Arnold C., *Bessel and annular beams for material processing*, **Laser Photonics Rev.** ٦ (۲۰۱۲) ٦۰۷-٦۲۱.

[۳] Burvall A., *Axicon imaging by scalar diffraction theory*, KTH University, ۲۰۰٤.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04]