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

تعیین فاصله کانونی با استفاده ازجابه‌جایی فریز مرکزی در پراش فرنل از تیغه فازی

محدثه عباسی، معصومه دشتدار

دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، اوین

چکیده

زمانی‌که یک پرتو نور همگرا، همدوس و شبه تکفام لبه ی یک تیغه‌ی شفاف را که به صورت عمود بر محور اپتیکی قرار گرفته است روشن می‌کند، به دلیل تغییر ناگهانی ضریب شکست در مرز تیغه، نقش پراش فرنل به طور متقارن و متناوب حول یک فریز مرکزی تشکیل می‌شود. با چرخاندن تیغه حول خط عمود بر محور اپتیکی و لبه‌ی تیغه، فریزها جابه جا شده و حول پرتوی که بر سطح تیغه عمود است تشکیل می‌شوند. با اندازه‌گیری جابه‌جایی فریز مرکزی فاصله کانونی عدسی همگرا کننده‌ی نور قابل محاسبه است.

کلید واژه- پراش فرنل، پله فازی، فاصله‌کانونی

Determination of the focal length by central fringe displacement in Fresnel diffraction from phase plate

Mohadese Abbasi, Masoomeh Dashtdar

Department of Physics, Shahid Beheshti University, Tehran, Evin

When a transparent plate is illuminated perpendicular to its surface by a monochromatic convergent beam of light, the Fresnel fringes, caused by abrupt change in refractive index at the plate boundary, are formed periodical and symmetrical around the optical axis on the observation plane. When the plate is rotating around the direction normal to optical axis and plate boundary, the fringes are moved and formed around the ray that is perpendicular to the plate surface. It is shown theoretically and experimentally that the focal length of lenses can be determined by measurement of the displacement of the central Fresnel fringe.

Keywords: Focal length, Fresnel diffraction, Phase step

[Downloaded from opsi.ir on 2024-09-21]

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

۱- مقدمه

فاصله کانونی یکی از پارامترهای مهم سیستم‌های اپتیکی است که اندازه‌گیری آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. روش های مختلفی برای اندازه گیری فاصله کانونی ارائه شده‌اند[۱و۲]. به عنوان نمونه می توان به روش هایی بر پایه تداخل‌سنجی و انحراف‌سنجی ماره اشاره کرد[۳و۴]. در این مقاله روشی ساده و کاربردی برای اندازه‌گیری فاصله کانونی بر اساس پراش فرنل از پله فازی معرفی می‌شود. اگر باریکه گسترده نور شبه تکفام به وسیله عدسی همگرا شده و به لبه تیغه‌ی شیشه‌ای برخورد کند به سبب تغییر ناگهانی ضریب شکست در لبه تیغه، نقش فریزهای پراش فرنل تشکیل می‌شود. این فریزها به شکل متقارن و متناوب حول یک فریز مرکزی تشکیل می‌شوند. با چرخاندن تیغه حول راستایی عمود بر محور اپتیکی و لبه تیغه، فریزها جابه جا می‌شوند. با اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی فریز مرکزی و زاویه چرخش تیغه، می‌توان فاصله کانونی عدسی را به دست آورد.

۲- مطالعات نظری

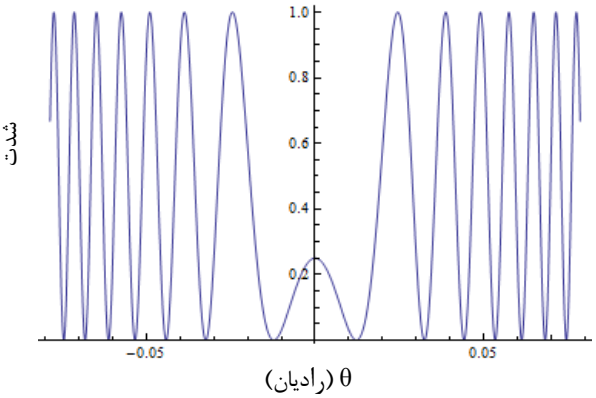
براساس مطالعاتی که اخیراً انجام شده است، پراش فرنل از پله فازی فرمول‌بندی و نشان داده شده است که شدت پراش در صفحه‌ی تصویر با رابطه‌ی زیر داده می‌شود[۵]

$$I = \cos^2(\phi/2) + 2\left(C_0^2 + S_0^2\right)\sin^2(\phi/2) + (C_0 - S_0)\sin(\phi), \quad (۱)$$

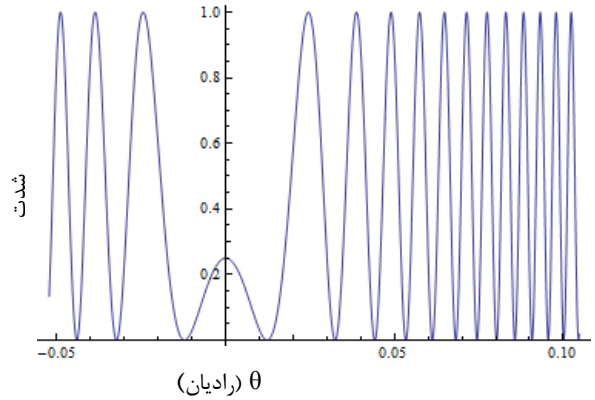
C_0 و S_0 انتگرال های sin و cos فرنل هستند و ϕ تغییر فاز در مرز تیغه و محیط اطراف، برابر است با

$$\phi = kh\left(\sqrt{N^2 - n^2\sin^2\theta} - n\cos\theta\right), \quad (۲)$$

که در آن، N ضریب شکست تیغه، n ضریب شکست محیط، h ضخامت تیغه و θ زاویه فرود نور است. در این‌جا چون جبهه موج همگرا و کروی است، θ در بازه‌ای مشخص به شکل متقارن حول محور اپتیکی توزیع می‌شود. در صفحه مشاهده شدت در راستای مربوط به $C_0 = S_0 = 0$، که متناظر با لبه ی تیغه است به شکل متناوب و متقارن حول محور اپتیکی توزیع می‌شود. در شکل۱ توزیع شدت برحسب زاویه فرود برای حالتی که تیغه بر محور اپتیکی عمود است، رسم شده است. فریز مرکزی در راستای پرتویی تشکیل می‌شود که تیغه را به صورت عمودی می‌بینند. در این حالت، فریز مرکزی روی محور اپتیکی تشکیل می‌شود و سایر فریزها حول فریز مرکزی به شکل متقارن توزیع می‌شوند. با چرخش تیغه، فریز مرکزی در راستای لبه تیغه جابه‌جا شده و در راستای پرتوی عمود بر سطح تیغه تشکیل می‌شود (شکل۲). با اندازه‌گیری جابه‌جایی فریز مرکزی فاصله کانونی قابل محاسبه است.



شکل۱: توزیع شدت در صفحه مشاهده مربوط به لبه تیغه شیشه‌ای برای جبهه موج کروی در فرود عمودی نور



شکل۲: توزیع شدت در صفحه مشاهده مربوط به لبه تیغه شیشه‌ای برای جبهه موج کروی پس از چرخش تیغه

در شکل۳، نمایی از هندسه به کار رفته برای محاسبه فاصله کانونی نشان داده شده است. باریکه شبه تکفام، همدوس و گسترده نور به شعاع a به یک عدسی با فاصله کانونی f می‌تابد. صفحه تصویر به فاصله دلخواه x از کانون قرار دارد. θ زاویه همگرایی پرتو کناری و Y شعاع پرتو در محل صفحه مشاهده است. با چرخش تیغه‌ی شیشه‌ای به اندازه زاویه α، فریز مرکزی به اندازه ΔY جابه‌جا می‌شود. مطابق شکل ۳ داریم :

[Downloaded from opsi.ir on 2024-09-21]

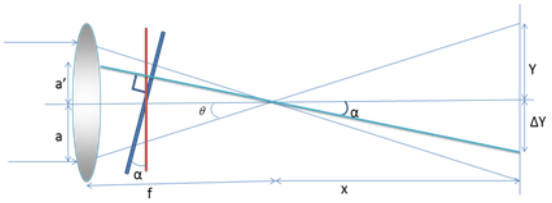
$$\tan\theta = \frac{a}{f} = \frac{Y}{x} \qquad (۳)$$

$$\tan\alpha = \frac{\Delta Y}{x} \qquad (۴)$$

با جاگذاری رابطه (۳) در رابطه (۴) داریم:

$$f = \frac{\Delta Y a}{Y \tan\alpha} \qquad (۵)$$

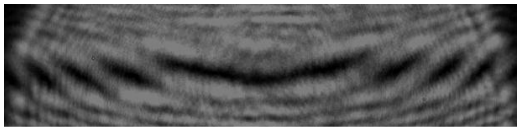
به این ترتیب با تغییر α و اندازه‌گیری ΔY و Y فاصله کانونی اندازه‌گیری می‌شود.



شکل۳: نمایی از هندسه به کار رفته در محاسبه فاصله کانونی

۳- شرح آزمایش و نتایج

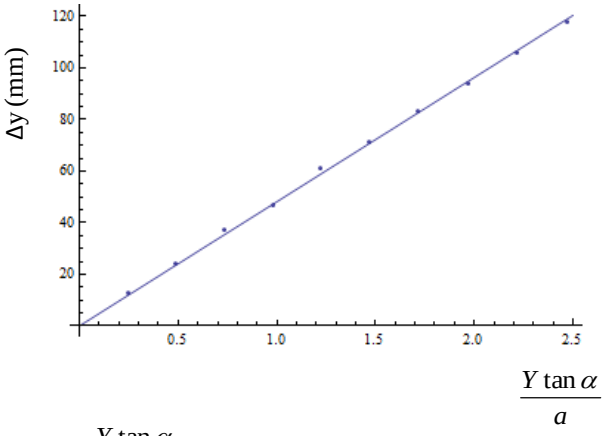
باریکه پهن شده لیزر هلیوم- نئون توسط روزنه ای به قطر ۲۰ میلی متر محدود و به عدسی آزمون می‌تابد. عدسی‌های آزمون، شامل دو عدسی تکی با فاصله‌های کانونی ۵۰ میلی‌متر و ۱۰۰ میلی متر هستند(خطای فواصل کانونی توسط شرکت سازنده داده نشده است). نور همگرا شده بعد از عدسی به تیغه شیشه‌ای با ضخامت ۶ میلی‌متر که عمود بر محور اپتیکی روی سکو(گونیومتر) با دقت ۰/۱ میلی‌متر قرار داده شده است، تابانده می‌شود. تیغه طوری قرار می‌گیرد که لبه ی آن سطح مقطع نور همگرا شده را نصف کرده و از قطر آن می‌گذرد. در شکل۴ فریزهای متناظر با لبه تیغه برای عدسی با فاصله کانونی ۵۰ میلی‌متر نشان داده شده است. شکل ۵ همین فریزها را بعد از چرخاندن تیغه حول راستای عمود بر لبه تیغه و محور اپتیکی به اندازه ۲ درجه نشان می‌دهد. با توجه به رابطه (۵) میزان جابه‌جایی فریز مرکزی ΔY برحسب $\frac{Y\tan\alpha}{a}$ نموداری خطی است، که شیب آن فاصله کانونی عدسی همگرا کننده است. در شکل۶، نقاط نمودار، میزان جابه‌جایی تجربی(ΔY) را برای عدسی با فاصله کانونی ۵۰ میلی‌متر نشان می‌دهند. خط پیوسته نمودار با برازش تابع خطی بر داده‌های تجربی به دست آمده است. شیب نمودار مقدار فاصله کانونی را برابر ۴۸/۱±۰/۹ میلی‌متر نتیجه می‌دهد. در شکل۷، نقاط مربوط به اندازه جابه‌جایی فریز مرکزی برای عدسی با فاصله کانونی ۱۰۰ میلی‌متر رسم شده است. به کمک شیب خط برازش شده به داده‌های تجربی فاصله کانونی ۱۰۰/۸±۰/۵ میلی‌متر به دست آمده است. در این مطالعه اندازه جابه‌جایی فریز مرکزی به کمک کاغذ میلی‌متری که در فاصله‌ی حدود ۳۰ سانتی‌متری از تیغه قرار داده شده است، با دقت ۱ میلی‌متر و زاویه چرخش تیغه با دقت ۰/۱ درجه اندازه‌گیری شده‌اند. خطای اندازه‌گیری با تکرار آزمایش و از روی میانگین داده‌ها با استفاده از روش کمترین مربعات محاسبه شده است و دقت اندازه‌گیری در مرتبه دهم میلی‌متر به دست آمده است.



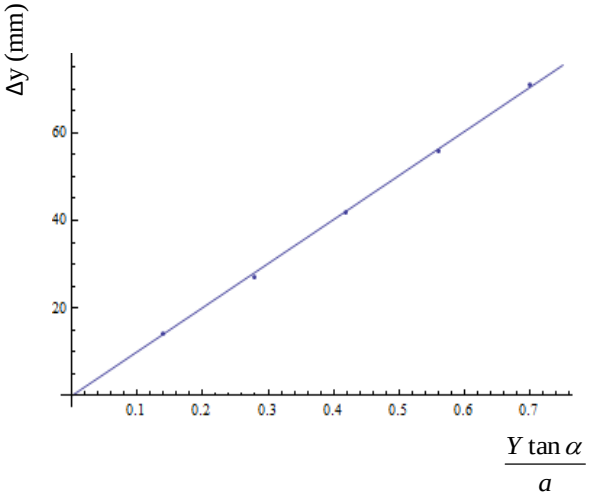
شکل۴: فریزهای تشکیل شده در فرود عمودی نور به تیغه، برای عدسی ۵۰ میلی‌متری

شکل۵: جابه‌جایی فریز مرکزی پس از چرخش تیغه به اندازه ۱ درجه برای عدسی ۵۰ میلی‌متری

[Downloaded from opsi.ir on 2024-09-21]



شکل۶ : میزان جابه‌جایی فریزمرکزی ΔY، برحسب $\frac{Y\tan\alpha}{a}$ برای عدسی ۵۰ میلی‌متری



شکل۷: میزان جابه‌جایی فریزمرکزی ΔY، برحسب $\frac{Y\tan\alpha}{a}$ برای عدسی ۱۰۰ میلی‌متری

۴- نتیجه گیری

روشی که در این مقاله برای اندازه‌گیری فاصله کانونی ارائه شده است نسبت به سایر روش ها بسیار ساده تر و کاربردی تر است. ویژگی برجسته ی این روش عدم نیاز به وسایل و چیدمان پیچیده آزمایشگاهی است، به نحوی که حتی بدون نیاز به اندازه گیری میزان شدت فریزها توسط آشکارسازهای نوری می توان به راحتی فریزها را مشاهده و اندازه‌گیری ها را توسط کاغذهای میلی‌متری انجام داد. در این مطالعه فواصل کانونی با دقت ۱ میلی متر محاسبه شده اند. درصورت انجام آزمایش با وسایلی که دقت بیشتری دارند، به عنوان مثال استفاده از گونیومترهای دقیق‌تر و اندازه‌گیری جابه‌جایی فریز مرکزی به کمک CCD که دقتی معادل میکرو پیکسل دارد، می‌توان فاصله کانونی را دقیق‌تر محاسبه کرد. همچنین در این روش با استفاده از تیغه‌هایی با ضخامت‌های مختلف امکان اندازه‌گیری فواصل کانونی در محدوده‌های مختلفی امکان‌پذیر است، درحالی که برخی از روشهایی که تا کنون ارائه شده‌اند قادر به اندازه‌گیری محدوده خاصی از فواصل کانونی هستند[۱].

۵- منابع

[1] Malacara D., *Optical Shop Testing*, 3rd ed, Ed., Wiley, New York _2007_.
[2] Morel S., *Methods for measuring a lens focal length*
[3] Keren E., Kreske K.M. and Kafri O., *Universal method for determining the focal length of optical systems by moiré deflectometry*
[4] Malacara-Doblado D., Salas-Peimbert D. P. and Trujillo-Schiaffino G., *Measuring the effective focal length and the wavefront aberrations of a lens system*
[5] Amiri M., Tavassoly M.T., *Fresnel diffraction from 1D and 2D phase steps in reflection and transmission modes* **Optic Commun 272** (2007) 349-361

[Downloaded from opsi.ir on 2024-09-21]