



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



## کاربرد تداخل سنج فیزو با فریزهای جایگزیده در آزمون موضعی آینه اولیه تلسکوپ رصد خانه ملی ایران

احمد درودی<sup>۱،۲</sup>، پیمان سلطانی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه فیزیک، دانشگاه زنجان، زنجان

<sup>۲</sup>رصدخانه ملی ایران، پژوهشگاه دانشهای بنیادی، تهران

چکیده - تداخل سنج فیزو با فریزهای جایگزیده یک روش آزمون سطوح اپتیکی است. در این مقاله این تداخل سنج معرفی می شود و سپس چگونگی کاربرد آن در آزمون موضعی آینه اولیه تلسکوپ رصد خانه ملی ایران ارائه می شود. این روش در آزمون آینه اولیه تلسکوپ ملی ایران اجرا شده است و نتایج تایید کننده نتایج اندازه گیری شرکت سازنده است. علاوه بر آن جزئیاتی را نشان می دهد که در روش اندازه گیری شرکت سازنده قابل مشاهده نیست. نتایج اندازه گیری نشان می دهد که کیفیت آینه اولیه تلسکوپ ملی در شرایط قابل قبولی قرار دارد و در حد مشخصات مشخص شده در قرارداد است.

کلید واژه- تداخل سنجی، فریز تداخلی، تداخل سنج فیزو.

### **Application of the Fizeau interferometry with localized fringes in local evaluation of the primary mirror of the Iranian national observatory telescope.**

Ahmad Darudi<sup>۱،۲</sup>, Peyman Soltani<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>Physics Department, University of Zanjan, Zanjan, Iran

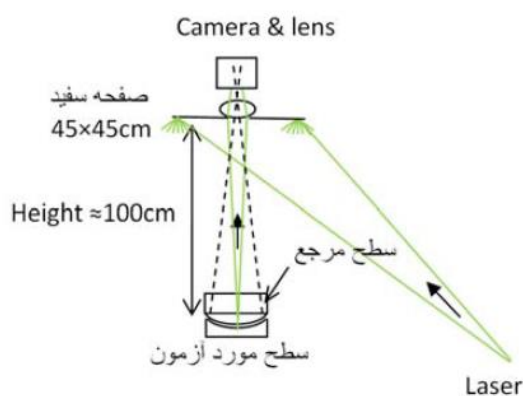
<sup>۲</sup>Iranian National Observatory, Institute for Research in Fundamental Sciences, Tehran,

Abstract- The Fizeau interferometry with localized fringes is a method for testing optical surfaces. In this paper it is introduced and its application for local evaluation of the primary mirror of the Iranian National Observatory (INO) telescope is presented. The method has applied for testing the primary mirror of INO telescope and results are verifying the measurements of the manufacturer. Furthermore, it shows details that are not observable in the measurements of the manufacturer. The measurements prove that the mirror quality is acceptable and within the specification of the contract.

Keywords: Interferometry, fringe analysis, Fizeau Interferometer.

## ۱- مقدمه

شعاع انحنای یکی از دو سطح و مشاهده کیفی استفاده می‌شود.



شکل ۱. چیدمان تداخل‌سنج فیزو با فریزهای جایگزیده

در این تداخل‌سنج باریکه واگرای لیزر یک صفحه سفید را روشن می‌کند. پرتوهای نور حاصل از منبع نور گسترده لیزر (پراکنده شده از صفحه سفید) بر دو قطعه می‌تابد و پرتوهای بازتابیده از مرز تماس دو سطح با هم تداخل می‌کنند. جهت ثبت فریزهای تداخلی جایگزیده که در محل تماس دو سطح ایجاد شده‌اند از یک دوربین دیجیتالی همراه با لنز استفاده می‌شود. بطوریکه CCD تصویر فریزها را از میان روزنه داخل صفحه گسترده دریافت کند. اندازه صفحه سفید تقریباً کمی بزرگتر از دو برابر قطر قطعات مورد آزمون انتخاب می‌شود. لیزر با طول همدوسی بیشتر از چند میلیمتر برای این آزمایش کفایت می‌کند و طول موج لیزر هر چه کوتاهتر باشد دقت اندازه‌گیری بیشتر می‌شود.

اختلاف فاز دو موج تداخل کننده از تحلیل فریزهای تداخلی به روشهای متداولی چون روش فوریه و یا تغییر پله‌ای فاز بدست می‌آید [۶-۲]. در این چیدمان با ایجاد یک زاویه کوچک بین دو سطح فریزهای خطی و تقریباً موازی ایجاد و به روش تحلیل فوریه، توزیع فاز محاسبه می‌شود.

## ۳- کاربرد تداخل‌سنج فیزو با فریزهای

## جایگزیده در آزمون موضعی آینه تلسکوپ

قطعه اپتیکی با سطح محدب که از این به بعد سطح مرجع محدب نامیده می‌شود بر روی آینه تلسکوپ قرار داده می‌شود. شکل ۲ چیدمان تداخل‌سنج فیزو با فریزهای جایگزیده را روی آینه تلسکوپ نشان می‌دهد.

پروژه رصدخانه ملی ایران در اواخر سال ۱۳۸۷ به عنوان یکی از طرحهای کلان ملی با حمایت معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و وزارت علوم، تحقیقات و فناوری عملاً شروع بکار نمود. در سال ۱۳۹۰ بعد از اینکه طراحی مفهومی اپتیک تلسکوپ انجام شد، سایش و صیقل آینه اولیه تلسکوپ ملی ایران با قطر ۳۴۰ سانتیمتر به یک شرکتی فنلاندی سفارش داده شده و اکنون پایان یافته است. کلیه مراحل سایش و صیقل آینه از ابتدا تا پایان مورد ارزیابی قرار گرفته است.

پس از بازنگری فرآیند آزمون آینه در شرکت سازنده، در تابستان سال ۱۳۹۲ لزوم انجام یک آزمون تکمیلی علاوه بر آزمونهای معمول شرکت سازنده بر روی آینه، جهت تایید مشخصات آینه مورد تاکید قرار گرفت.

برای این منظور تداخل‌سنج فیزو با فریزهای جایگزیده جهت آزمون موضعی آینه انتخاب مناسبی بنظر می‌رسید. اندازه مقطع سطح مورد آزمون از آینه اولیه با قطر ۱۸۰ میلیمتر در نظر گرفته شد. از ملزومات اجرای آزمون فیزو تهیه سطحی محدب با شعاع انحنای بزرگ نزدیک به شعاع انحنای آینه اولیه تلسکوپ ملی ایران و قطر ۱۸۰ میلیمتر است (شعاع انحنای آینه اولیه تلسکوپ ۱۰۱۲۰ میلیمتر است). سایش و صیقل این سطح در صنایع اپتیک اصفهان انجام شد.

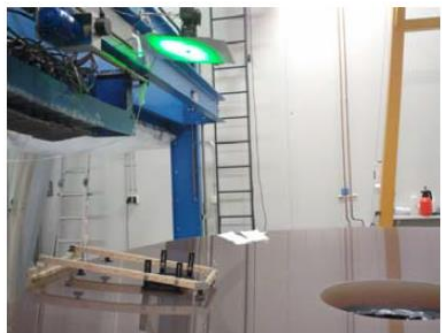
در این مقاله ابتدا چیدمان تداخل‌سنج فیزو معرفی و سپس روش تحلیل داده‌ها بیان می‌شود. در انتها تفسیر نتایج ارائه می‌شود.

## ۲- معرفی تداخل‌سنج فیزو با فریزهای

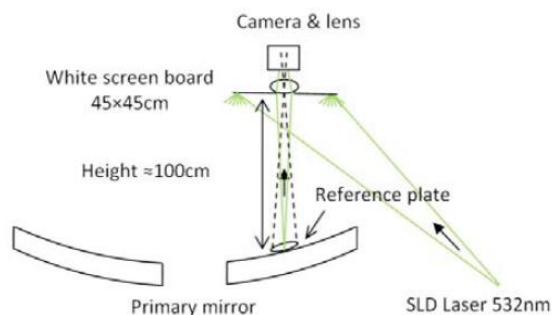
## جایگزیده

در شرایطی که سطح مرجع با مشخصات نزدیک به سطح مورد آزمون و با شعاع انحنای مخالف موجود باشد روش تداخل‌سنج فیزو یا نیوتن برای آزمون سطح مورد آزمون بکار می‌رود [۱]. چیدمان یک تداخل‌سنج فیزو با فریزهای جایگزیده در شکل ۱ آمده است.

چیدمان تداخل‌سنج مشابه تداخل‌سنج نیوتن است ولی دو تفاوت وجود دارد اول اینکه منبع نور لیزر بجای نور سدیم استفاده شده است و دیگر اینکه شعاع انحنای دو سطح تقریباً برابرند و هدف اندازه‌گیری کمی اختلاف فاز دو سطح است. عموماً تداخل‌سنج نیوتن برای اندازه‌گیری

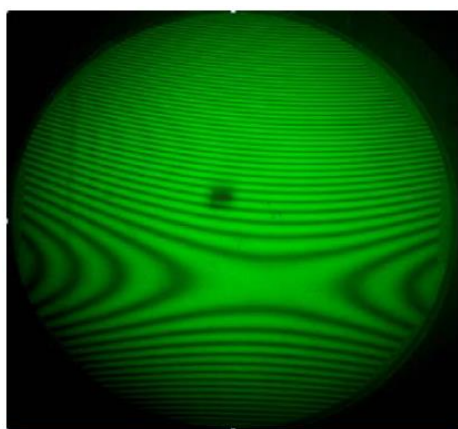


شکل ۴. قطعه چوبی کمکی برای جابجایی سطح مرجع محدب



شکل ۲. چیدمان تداخل‌سنج فیزو جهت آزمون آینه اولیه تلسکوپ ملی ایران

شکل ۵. نمونه‌ای از فریزهای تداخلی حاصل آزمون حاشیه آینه را نشان می‌دهد که بطور واضحی آستیگماتیسم را نشان می‌دهد. علت آن عدم برابری شعاع انحنای آینه در امتداد شعاعی و سمتی است که آن هم بخاطر هذلولی بودن سطح آینه است. اگر به فریزها دقت شود بسیار شفاف هستند و انحرافهای نامعمولی در آنها دیده نمی‌شود که این موضوع نشان از کیفیت نه چندان بد آینه دارد. جهت ایجاد امکان تحلیل فریزها به روش فوریه در گوشه‌ای از سطح مرجع محدب با لایه‌ای از چسب نواری بین سطح مرجع و آینه زاویه کوچکی ایجاد می‌شود.



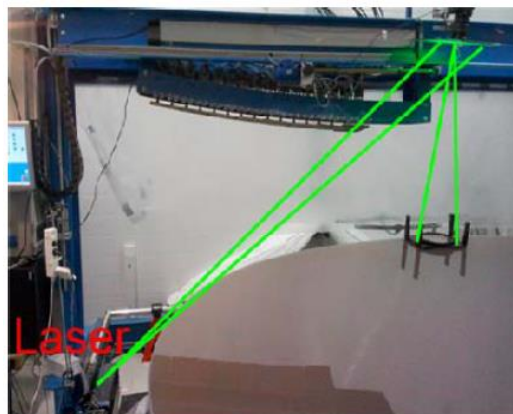
شکل ۵. نمونه‌ای از فریزهای تداخلی حاصل آزمون حاشیه آینه

پس از تحلیل فریزها به روش فوریه اختلاف فاز بین آینه و سطح محدب بدست می‌آید. خطای این محاسبه  $RMS = 0.05$  رادیان است. آنچه تئوری پیش بینی می‌کند این است که این اختلاف فاز با رابطه زیر بیان شود.

$$\Delta\phi(r) = 2k \left( \frac{r^2}{R - \sqrt{R^2 - (1-CC)r^2}} - \frac{r^2}{R' - \sqrt{R'^2 - r^2}} \right) \quad (1)$$

جمله اول این رابطه تابع شکل هذلولی آینه و جمله دوم تابع سطح مرجع محدب است. در این رابطه شعاع انحنای سطح مرجع  $R'$  و  $CC$  (Conic Constant) آینه مشخص

کارگاه ساخت آینه در شهر تورکو از کشور فنلاند قرار دارد در این کارگاه دستگاه سایش و صیقل آینه دارای یک پل بر روی آینه است که می‌تواند روی آینه در جهت افقی حرکت کند و ارتفاع آن نیز نسبت به آینه قابل تنظیم است. مطابق شکل ۳ صفحه سفید و دوربین متصل به آن به این پل متصل شد و لیزر از کنار آینه، صفحه سفید را روشن می‌کرد. همچنانکه در شکل مشخص است جهت قرار دادن سطح مرجع بر روی آینه، نگهدارنده‌ای ساخته شده است.

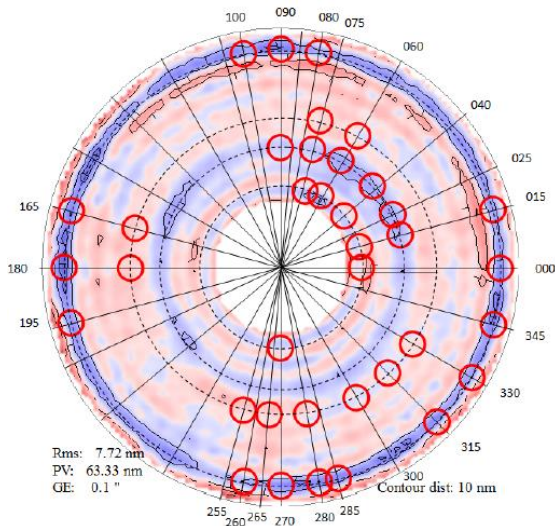


شکل ۳. تداخل‌سنج فیزو در موقعیت آزمون بخش کناری آینه اولیه تلسکوپ ملی ایران

این نگهدارنده اصولاً هیچگاه با سطح آینه تماس ندارد و جهت محافظت آینه زیر نگهدارنده چهار قطعه لاستیکی قرار دارد تا از صدمه به آینه جلوگیری کند.

جهت آزمون بخشهای داخلی تر آینه ابزاری چوبی برای جابجایی و قرار دادن سطح مرجع محدب در مکان مورد نظر ساخته شده بود. شکل ۴ استفاده از این ابزار کمکی را نشان می‌دهد. طول این ابزار و محل قرار گیری نگهدارنده سطح مرجع محدب در آن قابل تغییر است.

فرض می‌شود. آنگاه با برازش این رابطه به اختلاف فاز اندازه‌گیری شده می‌توان شعاع انحنای آینه  $R$ ، را بدست آورد.



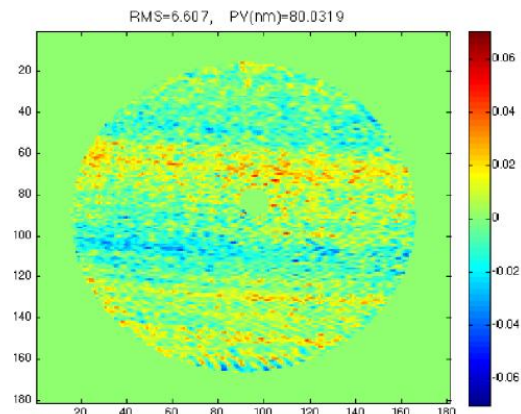
شکل ۸. دایره قرمز رنگ مناطق مورد آزمون روی سطح آینه را نشان می‌دهند.

### تقدیر و تشکر:

پروژه رصد خانه ملی ایران توسط معاونت محترم علمی و فناوری ریاست جمهوری و وزارت علوم حمایت و توسط دکتر رضا منصوری مدیریت می‌شود. بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از مدیریت محترم پروژه و مجموعه رصدخانه ملی ایران بخاطر حمایت مالی و معنوی صورت گرفته کمال تشکر را دارند. از جاناتان مکسول به خاطر ارائه مشاوره سازنده شان قدردانی می‌کنیم. از کارکنان بخش سیقل و کنترل کیفیت صنایع اپتیک اصفهان خصوصا آقای مردانی تشکر می‌شود.

مراجع

- [۱] Malacara, D., *Optical shop testing*, ۳th edition, A John wiley and sons Inc. publication, ۲۰۰۷.
- [۲] Akhlaghi, E., Darudi, A., Tavassoly, T., *Reconstructing the phase distribution of two interfering wavefronts by analysis of their nonlocalized fringes with an iterative methods*, **Optics Express**, ۱۷(۲۰۱۱) ۱۵۹۷۶-۱۵۹۸۱.
- [۳] Amiri, J., Darudi, A., Khademi, S., Soltani, P., *Application of Transport-of-intensity equation in fringe analysis*, **Optics Letters**, ۱۰(۲۰۱۴) ۲۸۶۴-۲۸۶۷.
- [۴] M. T. Tavassoly and A. Darudi, *Opt. Commun.* ۱۷۵, (۲۰۰۰) ۴۳
- [۵] E. A. Akhlaghi, A. Darudi, and M. T. Tavassoly, *Opt. Express* ۱۹, (۲۰۱۱) ۱۵۹۷۶
- [۶] R. Yazdani, H. R. Fallah, and H. Hajimahmoodzadeh, *Opt. Lett.* ۳۹, (۲۰۱۴)

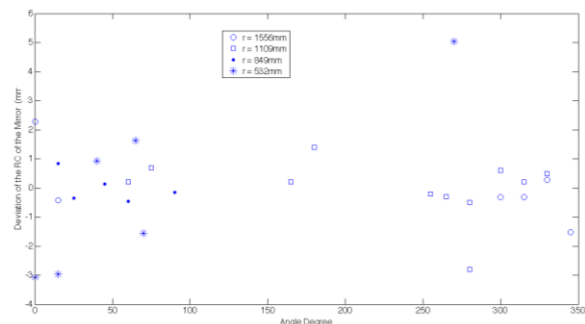


شکل ۶. نمونه‌ای از ابیراهی سطح آینه تلسکوپ ملی ایران در مقطع ۱۸۰ میلیمتر و در حاشیه آینه. واحد اختلاف فاز طول موج و واحد محورها میلیمتر است.

از اختلاف تابع برازش شده و توزیع فاز اندازه‌گیری شده مجموع خطای آینه و سطح مرجع محدب بدست می‌آید و با کم کردن ابیراهی سطح مرجع محدب، که قبلا در صنایع اپتیک اصفهان اندازه‌گیری شده بود، خطای آینه بدست می‌آید. شکل ۶ نمونه‌ای از نتیجه چنین محاسبه‌ای را نشان می‌دهد.

### ۴- نتایج تجربی

شکل ۸ مقادیر اندازه‌گیری شده شعاع انحنای آینه و شکل ۷ مناطق مورد آزمون توسط تداخل‌سنج فیزو را نشان می‌دهد.



شکل ۷. انحراف مقادیر شعاع انحنای بدست آمده در مناطق مشخص شده در شکل ۸. توسط آزمون فیزو و مقدار گزارش شده برای آینه.

شکل زیرین ناهمواری آینه را که توسط شرکت سازنده اندازه‌گیری شده است را نمایش می‌دهد. پراکندگی مقادیر شعاع انحنای حدودا  $RMS = \pm 3mm$  است که با خطای اندازه‌گیری مقدار گزارش شده مطابقت دارد.