INSO
21737
1st.Edition
2016
Identical with
ISO 11670:
2003

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۱۷۳۷
چاپ اول
۱۳۹۵

لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر– روش‌های آزمون پارامترهای باریکه لیزر– پایداری مکانی باریکه

Lasers and laser-related equipment- Test methods for laser beam parameters - Beam positional stability

ICS:31.260

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: http://www.isiri.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر – روش‌های آزمون پارامترهای باریکه لیزر – پایداری مکانی باریکه»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
پور اکبر صفار، علی (کارشناسی ارشد فیزیک اتمی)	مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک ایران
دبیر:	
ابوالحسینی، شهریار (کارشناسی ارشد فیزیک اتمی)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی
اعضا:(اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
ارجمندیان، نفیسه (کارشناسی فیزیک)	دانشگاه پیام نور واحد تهران شرق
بکائی، فاطمه (کارشناسی مهندسی اپتیک و لیزر)	دانشگاه بناب
جانعلی‌پور شهرانی، محمد رضا (کارشناسی ارشد فیزیک)	پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی (شرکت سهامی خاص)
رجبی، زهره (کارشناسی فیزیک)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی
سمیع‌پور، فرهاد (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی (شرکت سهامی خاص)
شهباز، مریم (کارشناسی فیزیک)	دانشگاه پیام نور واحد تهران شرق
عجمی، فاطمه (کارشناسی ارشد مهندسی صنایع)	آزمایشگاه اپتیک جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی شریف
عربلو، رضا (کارشناسی فیزیک)	پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی (شرکت سهامی خاص)

اعضا:(اسامی به ترتیب حروف الفبا)

سمت و/یا محل اشتغال:

کاظم‌نژاد، صفورا
(کارشناسی فیزیک)
دانشگاه پیام نور واحد تهران شرق

ویسی، فاطمه
(کارشناسی مترجمی زبان انگلیسی)
سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی

همتی، مریم
(کارشناسی فیزیک)
دانشگاه پیام نور واحد تهران شرق

ویراستار:

حق بین نظرپاک، معصومه
(دکترای مهندسی پزشکی)
دانشگاه صنعتی امیر کبیر

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ز
مقدمه ح
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۱
۴ دستگاه‌های مختصات و محور باریکه ۵
۴-۱ توزیع محور باریکه ۵
۴-۲ دستگاه‌های مختصات ۵
۵ اصول آزمون ۷
۵-۱ پایداری مکانی باریکه ۷
۵-۲ پایداری زاویه‌ای باریکه ۷
۶ چیدمان اندازه‌گیری، تجهیزات آزمون و وسایل جانبی ۷
۶-۱ آماده سازی ۷
۶-۲ کنترل شرایط محیطی ۸
۶-۳ سامانه آشکارساز ۸
۶-۴ اپتیک شکل‌دهی باریکه، تضعیف‌کننده‌های اپتیکی، تفکیک‌کننده‌های باریکه، عناصر کانونی‌کننده ۹
۶-۵ کالیبراسیون ۱۰
۷ روش‌های اجرائی آزمون ۱۰
۷-۱ کلیات ۱۰
۷-۲ پایداری مکانی باریکه ۱۰
۷-۳ پایداری زاویه‌ای باریکه ۱۰
۸ ارزشیابی ۱۰
۸-۱ پایداری مکانی باریکه ۱۰
۸-۲ پایداری زاویه‌ای باریکه ۱۲
۹ گزارش آزمون ۱۴
پیوست الف (آگاهی دهنده) انتشار پایداری مطلق باریکه ۱۷
پیوست ب (آگاهی دهنده) تفکیک نوسانات کوتاه مدت و بلندمدت ۲۰

پیش‌گفتار

استاندارد « لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر– روش‌های آزمون پارامترهای باریکه لیزر– پایداری مکانی باریکه» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی شمارهٔ ۵ تهیه و تدوین شده، در ششصد و هفتاد و ششمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۱۳۹۶/۰۲/۱۶ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم وخدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

ISO 11670: 2003 + Cor. 1: 2004, Lasers and laser-related equipment - Test methods for laser beam parameters - Beam positional stability.

مقدمه

مرکز باریکه لیزر به صورت مرکز هندسی لکه یا گشتاور فضایی مرتبه اول توزیع چگالی توان تعریف می‌شود. محور انتشار باریکه، خط مستقیمی است که مرکز دو صفحه مختلف در یک محیط همگن و یکنواخت را به هم متصل می‌کند. ناپایداری محور باریکه در اثر تغییر مکان عرضی و جابه‌جایی زاویه‌ای است، که ممکن است نسبت به زمان یکنواخت، دوره‌ای یا تصادفی باشد.

جابه‌جایی باریکه لیزر در تمام جهت‌ها، دارای توزیع دامنه‌های تصادفی و یکنواخت است. عموماً، ممکن است باریکه در یک جهت حرکت بیشتری داشته باشد. اگر جهتی دارای برتری باشد، روش ارائه شده در این استاندارد می‌تواند به منظور تعیین جهت محور-x باریکه نسبت به محور مختصات آزمایشگاه مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

این استاندارد اصول کلی برای اندازه‌گیری این کمیت‌ها را بیان می‌کند. علاوه بر آن تعاریف، اصطلاحات و نمادهای مورد استفاده، مرتبط با مکان باریکه در این استاندارد ارائه می‌شود.

لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر – روش‌های آزمون پارامترهای باریکه لیزر – پایداری مکانی باریکه

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه روش‌هایی برای تعیین موقعیت و پایداری زاویه‌ای باریکه لیزر می‌باشد. مجموعه آزمون‌های ارائه شده در این استاندارد به‌منظور استفاده جهت آزمون و مشخصه‌یابی لیزرها است.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

درصورتی‌که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 11145: 2001, Optics and optical instruments - Lasers and laser-related equipment - Vocabulary and symbols

2-2 ISO 11146: 1999, Lasers and laser-related equipment - Test methods for laser beam parameters - Beam widths, divergence angle and beam propagation factor

2-3 IEC 61040: 1990, Power and energy measuring detectors, instruments and equipment for laser radiation

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ذکر شده در استانداردهای IEC 61040، ISO 11145 و ISO 11146، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌روند:

۳-۱

حرکت زاویه‌ای

angular movement

α_x, α_y

حرکت زاویه‌ای باریکه لیزر، به ترتیب در صفحات x-z و y-z است.

یادآوری- این کمیت‌ها در محور دستگاه مختصات باریکه x, y, z تعریف می‌شوند. اگر نسبت کمیت‌ها در راستای x به راستای y از ۱: ۱٫۱۵ بیشتر نباشد، کمیت دارای تقارن چرخشی بوده و می‌تواند تنها با یک عدد بیان شود. در این حالت نماد α بدون شاخص بکار برده می‌شود.

۲-۳

پایداری زاویه‌ای باریکه

beam angular stability

$\delta\alpha_x$, $\delta\alpha_y$

دو برابر انحراف معیار حرکت زاویه‌ای اندازه‌گیری شده است.

یادآوری- این کمیت‌ها در محور دستگاه مختصات باریکه x, y, z تعریف می‌شوند. اگر نسبت کمیت‌ها در راستای x به راستای y از ۱: ۱٫۱۵ بیشتر نباشد، کمیت دارای تقارن چرخشی بوده و می‌تواند تنها با یک عدد بیان شود. در این حالت نماد α بدون شاخص بکار برده می‌شود.

۳-۳

محور

pivot

نقطه تقاطع لحظه‌ای تمام محورهای باریکه با محور z است.

یادآوری- اندازه‌گیری محور، در این استاندارد کاربرد ندارد، زیرا لزوماً وجود ندارد.

۴-۳

جابجایی عرضی

transverse displacement

a_x, a_y

فاصله جابه‌جایی عرضی باریکه لیزر به ترتیب در راستای x و y می‌باشد.

یادآوری ۱ - این کمیت‌ها در محور دستگاه مختصات باریکه x, y, z تعریف می‌شوند. اگر نسبت کمیت‌ها در راستای x به راستای y از ۱: ۱٫۱۵ بیشتر نباشد، کمیت دارای تقارن چرخشی بوده و می‌تواند تنها با یک عدد بیان شود. در این حالت نماد α بدون شاخص بکار برده می‌شود.

یادآوری ۲ - اندازه‌گیری جابه‌جایی عرضی در این استاندارد کاربرد ندارد.

۵-۳

حرکت مکانی باریکه

beam positional movement

حرکت مکانی مرکز هندسی باریکه لیزر در صفحه z' است.

یادآوری- حرکت مکانی در صفحه z' ناشی از برهم‌نهی[1] جابه‌جایی عرضی و/یا جابه‌جایی زاویه‌ای باریکه لیزر است.

۶-۳

پایداری مکانی باریکه

beam positional stability
$\Delta_x(z')$, $\Delta_y(z')$

چهار برابر انحراف معیار حرکت مکانی باریکه اندازه‌گیری شده در صفحه z' است.

یادآوری- این کمیت‌ها در محور دستگاه مختصات باریکه x, y, z تعریف می‌شوند. اگر نسبت کمیت‌ها در راستای x به راستای y از ۱: ۱٫۱۵ بیشتر نباشد، کمیت دارای تقارن چرخشی بوده و می‌تواند تنها با یک عدد بیان شود. در این حالت نماد $\Delta(z')$ بدون شاخص بکار برده می‌شود.

۷-۳

پایداری زاویه‌ای نسبی باریکه

relative beam angular stability
$\delta\alpha_{rel.x}, \delta\alpha_{rel.y}, \delta\alpha_{\mathrm{rel}}$

پایداری زاویه‌ای باریکه تقسیم بر زاویه واگرایی است.

یادآوری- برای باریکه‌های بیضوی، یک زاویه واگرایی مؤثر $\theta_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}\left(\theta_x^2 + \theta_y^2\right)}$ مورداستفاده قرار می‌گیرد، زیرا که، معمولاً محورهای اصلی پایداری مکانی باریکه با محورهای اصلی انتشار باریکه لیزر تلاقی ندارند.

۸-۳

پایداری مکانی نسبی باریکه

relative beam positional stability
$\Delta_{rel,x}(z')$, $\Delta_{rel,y}(z')$, $\Delta_{rel}(z')$

پایداری مکانی باریکه در صفحه z' تقسیم بر قطر باریکه در صفحه z' است

یادآوری- برای باریکه‌های بیضوی، یک قطر باریکه مؤثر $d_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}\left(d_x^2 + d_y^2\right)}$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرا که، معمولاً محورهای اصلی پایداری مکانی باریکه با محورهای اصلی انتشار باریکه لیزر تلاقی ندارند.

1- Superposition

۹-۳

ضرب پارامتر پایداری باریکه

beam stability parameter product
S_x, S_y, S

حاصل‌ضرب کمینه پایداری مکانی باریکه در طول انتشار و پایداری زاویه‌ای باریکه است.

یادآوری- مشابه روش قطر باریکه، پایداری مکانی باریکه، همان‌طور که در زیربند ۳-۶ تعریف شده است، از قانون انتشار هذلولی پیروی می‌کند؛ بنابراین، انتشار پایداری مطلق باریکه می‌تواند به طور کامل توسط سه پارامتر بیان شود: مکان z_0 از مقدار کمینه پایداری مکانی باریکه، مقدار کمینه پایداری مکانی باریکه Δ_0 و پایداری زاویه‌ای باریکه α. مکان z_0 از مقدار کمینه پایداری مکانی باریکه، معمولاً با مکان کمر باریکه لیزر تلاقی ندارد. (برای جزئیات بیشتر به پیوست الف مراجعه شود).

۱۰-۳

تغییر مکانی باریکه از ابتدا

beam positional change from cold start

تفاوت بین مکان باریکه در لحظه روشن شدن لیزرِ در تعادل دمایی با محیط و در زمانی که لیزر برای مدت طولانی‌تر از زمان پیش‌گرمایش آن کار کرده است.

۱۱-۳

پایداری کوتاه‌مدت

short-term stability

پایداری در گام‌های زمانی ۱ ثانیه است.

۱۲-۳

پایداری میان مدت

medium-term stability

پایداری در گام‌های زمانی ۱ دقیقه است.

۱۳-۳

پایداری بلند مدت

long-term stability

پایداری در گام‌های زمانی ۱ ساعت است.

۴ دستگاه‌های مختصات و محور باریکه

۴-۱ توزیع محور باریکه

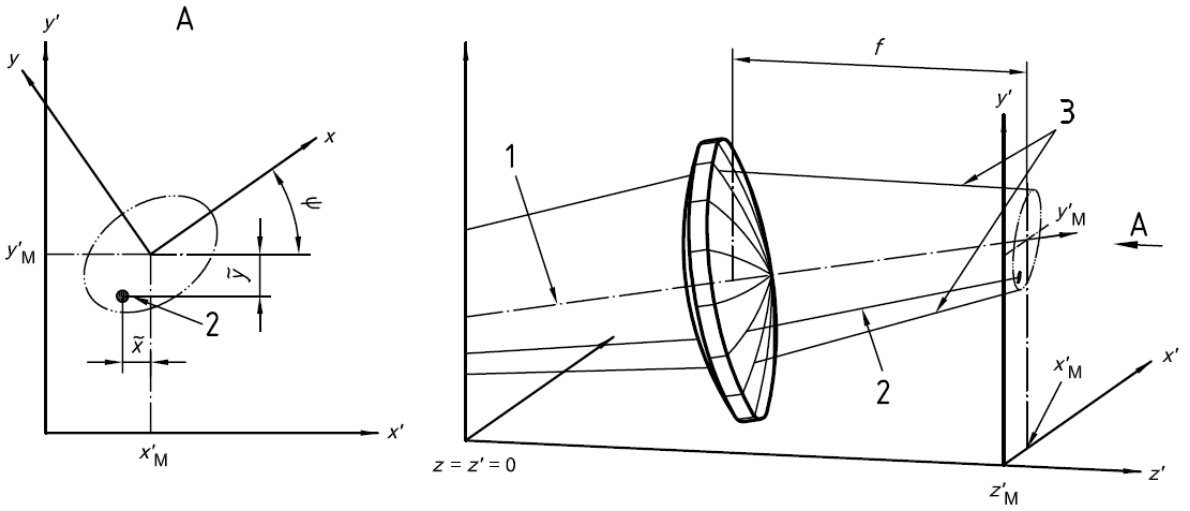
توزیع محور باریکه (طبق تعریف ارائه شده دراستاندارد ISO 11145) از تعداد قابل‌توجهی ($n \geq 1000$) اندازه‌گیری جهت محور باریکه به دست می‌آید.

حرکت محور باریکه با استفاده از انحراف معیار توزیع محور باریکه بیان می‌شود. این انحراف معیار می‌تواند در جهات مختلف تغییر کند. به این معنی که دامنه حرکت باریکه در یک راستا می‌تواند از سایر راستاها بزرگ‌تر بوده و توزیع جابجایی محور باریکه لزوماً تقارن شعاعی ندارد.

۴-۲ دستگاه‌های مختصات

۴-۲-۱ کلیات

تمام دستگاه‌های مختصات، راست‌گرد تعریف می‌شوند.



راهنما :

1 راستای میانگین محورهای انتشار باریکه
2 محور باریکه (برای یک اندازه‌گیری)
3 دو برابر انحراف معیار توزیع محور باریکه

شکل ۱ – دستگاه‌های مختصات x, y, z و x', y', z'

۴-۲-۲ مختصات آزمایشگاه

محورهای فضایی متعامد x'، y' و z' در مختصات آزمایشگاه تعریف می‌شوند. مبدأ محور z' در صفحه مرجع $x' - y'$ توسط سازنده لیزر تعریف می‌شود (به عنوان مثال جلوی محفظه لیزر). به‌طوری‌که انتشار باریکه تقریباً (با انحراف کمتر از ۱۰ درجه) در امتداد محور z' است.

۴-۲-۳ مختصات محور باریکه

دومین دستگاه مختصات متعامد، دستگاه محور باریکه، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

- محور z که میانگین راستای محور انتشار باریکه (گشتاور زمانی مرتبه اول توزیع محور باریکه) است که باید بعد از به تعادل رسیدن لیزر، مشخص شود.
- محور x راستای بیشینه دامنهٔ جابه‌جایی توزیع محور باریکهٔ نامتقارن، در حالت میدان دور است.

یادآوری- توزیع محور باریکهٔ نامتقارن با تابع توزیع توان باریکهٔ نامتقارن اشتباه نشود.

مبدأ دستگاه مختصات محور باریکه بر مبدأ دستگاه مختصات آزمایشگاه منطبق است.

۴-۲-۴ زاویه سمتی

زاویه سمتی، ψ، زاویهٔ چرخش محور x باریکه نسبت به محور x' دستگاه مختصات آزمایشگاه است.

۴-۲-۵ تبدیل مختصات

برای تبدیل n مختصات اندازه‌گیری شده در سیستم آزمایشگاهی $(x',\ y',\ z')$ به سیستم محور باریکه (x, y, z) باید از معادلات زیر که همان معادلات در تبدیل‌های انتقالی و دورانی می‌باشند، استفاده شود. (به شکل ۱ مراجعه شود، که در آن پایین‌نویس M، مختصات را در صفحه اندازه‌گیری نشان می‌دهد).

الف- گام اول (محاسبهٔ x'_M و y'_M)

$$x'_M = \frac{\sum_i x'_i}{n} \qquad (۱)$$

$$y'_M = \frac{\sum_i y'_i}{n} \qquad (۲)$$

که در آن‌ها i = 1 تا n است.

ب- گام دوم (انتقال):

$$\tilde{x} = x' - x'_M \qquad (۳)$$

$$\tilde{y} = y' - y'_M \qquad (۴)$$

پ- گام سوم (چرخش حول محور z):

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} cos\psi & sin\psi \\ -sin\psi & cos\psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \end{pmatrix} \qquad (۵)$$

که در آن:

$$\psi = \frac{1}{2} arctan\left(\frac{2s_{\tilde{x}\tilde{y}}{}^2}{s_{\tilde{x}}^2 - s_{\tilde{y}}^2}\right) \qquad (۶)$$

$$s_{\tilde{x}}^2 = \frac{\sum_i (x_i' - x_M')^2}{n-1} \quad (۷)$$

$$s_{\tilde{y}}^2 = \frac{\sum_i (y_i' - y_M')^2}{n-1} \quad (۸)$$

$$s_{\tilde{x}\tilde{y}}^2 = \frac{\sum_i (x_i' - x_M')(y_i' - y_M')}{n-1} \quad (۹)$$

که در آن‌ها $i = 1$ تا n است.

۵ اصول آزمون

۵-۱ پایداری مکانی باریکه

پایداری مکانی باریکه مستقیماً یا در صفحه تصویر یک قطعه تصویرساز[1] اندازه‌گیری می‌شود. جابه‌جایی مرکز هندسی باریکه با استفاده از یک آشکارساز حساس به مکان تعیین می‌شود. مکان مرکز هندسی باریکه (به وسیله گشتاور فضایی مرتبه اول تابع توزیع چگالی توان در دستگاه مختصات x, y, z اندازه‌گیری می‌شود) موقعیت آنی محور باریکه را در مختصات آزمایشگاهی x', y', z' نشان می‌دهد. پایداری مکانی باریکه از محاسبه انحراف معیار تغییرات موقعیت مرکز هندسی در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت یا بلندمدت به دست می‌آید.

۵-۲ پایداری زاویه‌ای باریکه

پایداری زاویه‌ای باریکه در صفحه کانونی یک قطعه کانونی‌کننده، اندازه‌گیری می‌شود. تغییر مرکز هندسی باریکه با استفاده از یک آشکارساز حساس به مکان تعیین می‌شود. مکان مرکز هندسی باریکه (که به وسیله گشتاور فضایی مرتبه اول تابع توزیع چگالی توان در دستگاه مختصات x, y, z اندازه‌گیری می‌شود) موقعیت آنی محور باریکه را در مختصات آزمایشگاهی x', y', z' نشان می‌دهد. پایداری زاویه‌ای باریکه از محاسبه انحراف معیار تغییرات موقعیت مرکز هندسی در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت یا بلندمدت به دست می‌آید.

۶ چیدمان اندازه‌گیری، تجهیزات آزمون و وسایل جانبی

۶-۱ آماده‌سازی

باریکه لیزر و محور نوری دستگاه اندازه‌گیری باید هم‌محور باشند.

روزنه سامانه نوری باید به نحوی قرار بگیرد که تمام سطح مقطع باریکه لیزر را دربر گیرد. اتلاف ناشی از قطع یا پراش باریکه باید سهم کمتر از ٪ ۱ اثر خطای پیش‌بینی شده در اندازه‌گیری نهایی داشته باشد.

1- Imaging component

قطعات نوری (تفکیک‌کننده باریکه[1]، تضعیف‌کننده، قطعه تصویرساز و غیره) باید به نحوی قرار گیرند که محور نوری از مرکز هندسی آن‌ها عبور کند. بهتر است حذف خطاهای سیستماتیک مورد توجه قرار گیرد. بازتاب‌ها، تابش حرارتی و محیط خارجی، آشفتگی هوا یا شوک حرارتی[2]، منابع بالقوه این‌گونه خطاها هستند.

لیزر باید قبل از اندازه‌گیری، بر اساس دستورالعمل سازنده، روشن‌شده تا به تعادل گرمایی برسد. تجهیزات آزمون باید به خوبی در تعادل گرمایی قرارگرفته باشند.

پس از تکمیل آماده‌سازی اولیه، بهتر است ارزیابی صورت پذیرد که آیا تمام باریکه لیزر به سطح آشکارساز می‌رسد یا خیر. برای این آزمون، روزنه‌هایی با قطرهای مختلف در مسیر باریکه و در جلوی هرکدام از قطعات اپتیکی قرار داده می شوند. روزنه‌ای که ٪ ۵ علامت خروجی را کاهش می‌دهد، باید قطر آن کمتر از ۰٫۸ برابر روزنه قطعه اپتیکی باشد.

۶-۲ کنترل شرایط محیطی

میز اپتیکی یا سامانه پشتیبانی لیزر و سامانه اندازه‌گیری، باید دارای پایداری اپتومکانیکی[3]، حداقل از مرتبه بزرگی لیزر تحت آزمون باشد. توصیه می‌شود اقداماتی انجام شود که تضمین کند تاثیرات خارجی یا سیستماتیک ، خطای محتمل پیش‌بینی شده اندازه‌گیری‌ها را بیش از ٪ ۱۰ افزایش نمی‌دهد. توصیه می‌شود این اقدامات شامل جداسازی مکانیکی و صوتی تجهیزات تحت آزمون، پایدارسازی دمای آزمایشگاه و سامانه خنک‌سازی لیزر (تعیین‌شده بر اساس دستورالعمل سازنده) حفاظت در برابر نوفه‌های شدید الکتریکی و اپتیکی و استفاده از تجهیزات الکترونیکی با نوفه کمینه باشند.

۶-۳ سامانه آشکارساز

برای اندازه‌گیری پایداری مکانی باریکه، باید مطابق استاندارد ISO11146، گشتاور فضایی مرتبه اول تابع توزیع چگالی توان اندازه‌گیری شود. به‌طور خاص، شرایط این استاندارد برای سامانه آشکارساز کاربرد دارد.

اگر تابع توزیع چگالی توان از یک اندازه‌گیری تا اندازه‌گیری بعدی تغییر نکند (به عنوان مثال دیودهای جانبی، آشکارساز چهار قطبی)، سامانه آشکارساز ساده‌تری می‌تواند استفاده شود. صحت اندازه‌گیری مستقیماً به تفکیک مکانی سامانه آشکارساز و نسبت سیگنال به نوفه[4] آن بستگی دارد.

سامانه آشکارساز تابش باید مطابق استاندارد IEC 61040:1990 باشد، به ویژه بندهای ۳ و ۴ آن استاندارد مهم هستند. باید در نظر داشت که فقط اندازه‌گیری‌های نسبی موردنیاز هستند. توصیه می‌شود علاوه بر آن، موارد زیر نیز مدنظر قرار گیرند:

---

1 -Beam splitter
2- Thermal blooming
3- Optomechanical
4- Signal-to-noise

- بر اساس اطلاعات سازنده و یا به وسیله اندازه‌گیری اطمینان حاصل شود که مقدار خروجی و ورودی سامانه آشکارساز (به عنوان مثال ولتاژ)، به یکدیگر وابستگی خطی دارند (توان لیزر). هرگونه وابستگی به طول‌موج، غیرخطی یا غیر یکنواختی آشکارساز یا وسیله الکترونیکی باید کمینه شده یا با استفاده از روش اجرایی کالیبراسیون تصحیح شود.
- باید توجه شود که آستانه تخریب (برای شدت تابش[1]، پرتودهی[2]، توان و انرژی) سطح آشکارساز به واسطه باریکه لیزر افزایش نیابد.

۶-۴ اپتیک شکل‌دهی باریکه، تضعیف‌کننده‌های اپتیکی، تفکیک‌کننده‌های باریکه، عناصر کانونی کننده

در حالتی که سطح مقطع باریکه لیزر بزرگ‌تر از سطح آشکارساز باشد، یک سامانه اپتیکی مناسب برای تصویرسازی سطح مقطع باریکه لیزر روی سطح آشکارساز مورد استفاده قرار گیرد.

باید قطعات اپتیکی متناسب با طول‌موج انتخاب شوند.

هنگامی که توان خروجی لیزر یا چگالی توان آن از گستره کاری (خطی) یا آستانه تخریب آشکارساز بیشتر شود، باید از تضعیف‌کننده‌ها استفاده شود. هرگونه وابستگی به طول‌موج، قطبش و زاویه، غیرخطی یا غیریکنواختی تضعیف‌کننده‌های اپتیکی باید کمینه گردند و یا با استفاده از روش اجرایی کالیبراسیون تصحیح شوند. برای کار با لیزرهای پرتوان، باید از تخریب ناشی از باریکه لیزر جلوگیری شود.

دستگاه کانونی‌کننده مورد استفاده باید با الزامات قطعات اپتیکی ذکرشده در بالا مطابقت داشته باشد. علاوه بر آن، الزامات زیر نیز باید رعایت شوند:

- دستگاه کانونی‌کننده باید فاقد ابیراهی[3] باشد، به این معنی که تاثیر ابیراهی بر کمیت‌های اندازه‌گیری شده باید کمتر از ٪ ۲۰ خطای کل اندازه‌گیری بدون ابیراهی باشد.
- فاصله کانونی و محل صفحات اصلی آن، باید حدود ٪ ۱ فاصله کانونی باشد.
- روزنه سامانه کانونی‌کننده باید به گونه‌ای باشد که تمام سطح مقطع باریکه لیزر را در بر داشته و اتلاف ناشی از قطع باریکه یا پراش آن کمتر از ٪ ۱ خطای پیش‌بینی‌شده احتمالی در اندازه‌گیری باشد.

هیچ یک از عناصر اپتیکی نباید به‌طور عمده روی توزیع چگالی توان نسبی تأثیر بگذارند. هنگام تصویرسازی باریکه لیزر روی سطح آشکارساز، باید در مراحل ارزیابی تغییر در بزرگنمایی لحاظ شود.

1- Irradiance
2- Radiant exposure
3- Aberration-free

۶-۵ کالیبراسیون

روش اجرایی کالیبراسیون باید قبل از شروع اندازه‌گیری پایداری مکانی باریکه انجام شود. این فرآیند را می‌توان با جابه‌جایی آشکارساز حساس به مکان به یک مکان معلوم توسط یک جفت صفحات متعامد متحرک میکرونی خطی به‌سادگی انجام داد.

۷ روش‌های اجرائی آزمون

۷-۱ کلیات

اندازه‌گیری‌ها باید در شرایط کار که توسط سازنده لیزر تعیین شده، انجام شوند. در طی مدت اندازه‌گیری باید حداقل ۱۰۰۰ مرتبه از باریکه نمونه‌برداری شود. پهنای باند فرکانس الکتریکی آشکارساز شامل پهنای باند تقویت‌کننده‌های در مسیر و سایر دستگاه‌های الکترونیکی مرتبط باید از معکوس اختلاف زمانی بین دو اندازه‌گیری، سه برابر بزرگتر باشد.

یادآوری- اگر سامانه‌های مبتنی بر دوربین برای اندازه‌گیری استفاده می‌شوند، پهنای باند زمانی توسط نرخ تکرار تصویربرداری در ثانیه محدود می‌شود.

۷-۲ پایداری مکانی باریکه

به‌منظور اندازه‌گیری پایداری مکانی باریکه در مکان z'، دستگاه آشکارساز باید در مکان z' قرارگرفته و یا مکان z' با بزرگنمایی γ روی سطح آشکارساز تصویر شود. جابه‌جایی محور باریکه باید به ترتیب در زمان‌های اندازه‌گیری ۱ ثانیه (به زیربند ۳-۱۱ مراجعه شود)، ۱ دقیقه (به زیربند ۳-۱۲ مراجعه شود) و ۱ ساعت (به زیربند ۳-۱۳ مراجعه شود) ثبت شود.

۷-۳ پایداری زاویه‌ای باریکه

به‌منظور اندازه‌گیری پایداری زاویه‌ای باریکه، سطح آشکارساز باید در صفحه کانونی قطعه کانونی‌کننده قرار گیرد. جابه‌جایی محور باریکه باید به ترتیب در زمان‌های اندازه‌گیری ۱ ثانیه (به بند۳-۱۱ مراجعه شود)، ۱ دقیقه (به بند ۳-۱۲ مراجعه شود) و ۱ ساعت (به بند ۳-۱۳ مراجعه شود) ثبت شود.

۸ ارزشیابی

۸-۱ پایداری مکانی باریکه

ارزشیابی پایداری مکانی باریکه به‌صورت زیر انجام می‌شود.

الف- در مکان z' مرکز هندسی لکه باید به روش‌های زیر تعیین شود:

۱- خوانش آشکارساز با حساسیت افقی (به زیربند ۶-۳ مراجعه شود)

و یا

۲- محاسبه گشتاور فضایی مرتبه اول تابع توزیع چگالی توان

$$\bar{x}_i' = \frac{\iint x' E(x',y') dx' dy'}{\iint E(x',y') dx' dy'} \quad (۱۰)$$

$$\bar{y}_i' = \frac{\iint y' E(x',y') dx' dy'}{\iint E(x',y') dx' dy'} \quad (۱۱)$$

هنگام استفاده از دستگاه تصویرساز، بزرگنمایی تصویر نیز باید لحاظ شود.

ب- مختصات x'_M و y'_M ، نقطه برخورد محور باریکه با صفحه اندازه‌گیری در مختصات آزمایشگاه ($z' = z'_M$) با معادله‌های زیر تعیین می‌شوند.

$$x'_M = \frac{\sum_i x'_i}{n} \quad (۱۲)$$

$$y'_M = \frac{\sum_i y'_i}{n} \quad (۱۳)$$

که در آن $i = 1$ تا n ($n \geq 1000$) است.

پ- مختصات x'_i و y'_i طبق زیر بند ۵-۲-۴ (تبدیلات انتقالی و چرخشی) به دستگاه مختصات محور باریکه (x, y, z) تبدیل می‌شوند. زاویه سمتی، ψ ، باید محاسبه و ثبت شود.

$$\psi = \frac{1}{2} arctan\left(\frac{2s^2_{\tilde{x}\tilde{y}}}{s^2_{\tilde{x}} - s^2_{\tilde{y}}}\right) \quad (۱۴)$$

$$s^2_{\tilde{x}} = \frac{\sum_i (x'_i - x'_M)^2}{n-1} \quad (۱۵)$$

$$s^2_{\tilde{y}} = \frac{\sum_i (y'_i - y'_M)^2}{n-1} \quad (۱۶)$$

$$s^2_{\tilde{x}\tilde{y}} = \frac{\sum_i (y'_i - y'_M)(x'_i - x'_M)}{n-1} \quad (۱۷)$$

که در آن‌ها $i = 1$ تا n است.

یادآوری- به‌طورکلی نباید زاویه ψ روی محور x دستگاه محور باریکه تعریف شود؛ زیرا اندازه‌گیری در میدان دور انجام نمی‌شود.

ت- از مقادیر (x_i, y_i) انحراف معیارهای s_x، s_y و s توسط معادله‌های زیر محاسبه شوند:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_i x_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_i [(x'_i - x'_M)cos\psi + (y'_i - y'_M)sin\psi]^2}{n-1}} \quad (۱۸)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum_i y_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_i [-(x'_i - x'_M)sin\psi + (y'_i - y'_M)cos\psi]^2}{n-1}} \quad (۱۹)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_i r_i^2}{n-1}} \quad (۲۰)$$

که

$$r_i^2 = x_i^2 + y_i^2$$
$$r_i^2 = (x_i' - x_M')^2 + (y_i' - y_M')^2$$

ث- پایداری مکانی باریکه با استفاده از معادله‌های زیر تعیین می‌شوند.

$$\Delta_x(z) = 4s_x \quad (۲۱)$$

$$\Delta_y(z) = 4s_y \quad (۲۲)$$

$$\Delta(z) = 2\sqrt{2}s \quad (۲۳)$$

۸-۲ پایداری زاویه‌ای باریکه

جابه‌جایی در صفحه کانونی $\zeta_{x'}$، $\zeta_{y'}$ و ζ به‌صورت زیر به جابه‌جایی زاویه‌ای $\alpha_{x'}$، $\alpha_{y'}$ و α مرتبط می‌شوند:

$$\alpha_{x'} = \frac{\zeta_{x'}}{f} \quad (۲۴)$$

$$\alpha_{y'} = \frac{\zeta_{y'}}{f} \quad (۲۵)$$

$$\alpha = \frac{\zeta}{f} \quad (۲۶)$$

ارزشیابی پایداری زاویه‌ای باریکه باید به‌صورت زیر انجام شود.

الف- تعیین مرکز هندسی در صفحهٔ کانونی از طریق:

۱- خوانش آشکارساز با حساسیت افقی (به زیربند ۳-۶ مراجعه شود)؛

و یا

۲- محاسبه گشتاور فضایی مرتبه اول تابع توزیع چگالی توان.

$$\zeta_{x'_i} = \frac{\iint x' E(x',y') dx' dy'}{\iint E(x',y') dx' dy'} \quad (۲۷)$$

$$\zeta_{y'_i} = \frac{\iint y' E(x',y') dx' dy'}{\iint E(x',y') dx' dy'} \quad (۲۸)$$

ب- مختصات $\zeta_{x'_M}$ و $\zeta_{y'_M}$ با معادله‌های زیر تعیین می‌شوند.

$$\zeta_{x'_M} = \frac{\sum_i \zeta_{x'_i}}{n} \quad (۲۹)$$

$$\zeta_{y'_M} = \frac{\sum_i \zeta_{y'_i}}{n} \quad (۳۰)$$

که در آن‌ها $i = 1$ تا n ($n \geq 1000$) است.

پ- مختصات $\zeta_{x_i'}$ و $\zeta_{y_i'}$ می‌تواند طبق زیربند ۵-۲-۴ (تبدیلات انتقالی و چرخشی) به دستگاه مختصات محور باریکه (x, y, z) تبدیل شوند. زاویه سمتی، ψ' ، باید محاسبه و ثبت شود.

$$\psi' = \frac{1}{2} arctan\left(\frac{2s^2_{\tilde{x}\tilde{y}}}{s^2_{\tilde{x}} - s^2_{\tilde{y}}}\right) \quad (۳۱)$$

$$s^2_{\tilde{x}} = \frac{\sum_i \left(\zeta_{x_i'} - \zeta_{x_M'}\right)^2}{n-1} \quad (۳۲)$$

$$s^2_{\tilde{y}} = \frac{\sum_i \left(\zeta_{y_i'} - \zeta_{y_M'}\right)^2}{n-1} \quad (۳۳)$$

$$s^2_{\tilde{x}\tilde{y}} = \frac{\sum_i \left(\zeta_{x_i'} - \zeta_{x_M'}\right)\left(\zeta_{y_i'} - \zeta_{y_M'}\right)}{n-1} \quad (۳۴)$$

که در آن‌ها $i = 1$ تا n است.

یادآوری- زاویه ϕ' روی محور x دستگاه محور باریکه تعریف شود.

ت- از مقادیر $(\zeta_{x_i}, \zeta_{y_i})$ انحراف معیارهای s_{ζ_x}, s_{ζ_y} و توسط معادله‌های زیر محاسبه شوند:

$$s_{\zeta_x} = \sqrt{\frac{\sum_i {\zeta_{x_i}}^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_i \left[\left(\zeta_{x_i'} - \zeta_{x_M'}\right) cos\psi' + \left(\zeta_{y_i'} - \zeta_{y_M'}\right) sin\psi'\right]^2}{n-1}} \quad (۳۵)$$

$$s_{\zeta_y} = \sqrt{\frac{\sum_i \zeta_{y_i^2}}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_i \left[-\left(\zeta_{x_i'} - \zeta_{x_M'}\right) sin\psi' + \left(\zeta_{y_i'} - \zeta_{y_M'}\right) cos\psi'\right]^2}{n-1}} \quad (۳۶)$$

$$s_\zeta = \sqrt{\frac{\sum_i \zeta_i^2}{n-1}} \quad (۳۷)$$

که در آن‌ها:

$$\zeta_i^2 = \zeta_{x_i}^2 + \zeta_{y_i}^2 = \left(\zeta_{x_i'} - \zeta_{x_M'}\right)^2 + \left(\zeta_{y_i'} - \zeta_{y_M'}\right)^2$$

است.

ث- پایداری زاویه‌ای باریکه می‌تواند با استفاده از معادله‌های زیر تعیین شود.

$$\delta\alpha_x = \frac{2s_{\zeta_x}}{f} \quad (۳۸)$$

$$\delta\alpha_y = \frac{2s_{\zeta_y}}{f} \quad (۳۹)$$

$$\delta\alpha = \frac{\sqrt{2}s_\zeta}{f} \quad (۴۰)$$

که در آن‌ها f فاصله کانونی قطعه کانونی کننده مورد استفاده است.

۹ گزارش آزمون

اطلاعات زیر باید در گزارش آزمون ارائه شود:

الف- اطلاعات عمومی:

۱- آزمون مطابق با این استاندارد ملی انجام شده است؛

۲- تاریخ آزمون؛

۳- نام و نشانی سازمان آزمون‌کننده؛

۴- نام شخص آزمون‌کننده.

ب- اطلاعات مرتبط با لیزر تحت آزمون:

۱- نوع لیزر؛

۲- سازنده؛

۳- مدل ساخت؛

۴- شماره سریال.

پ- شرایط آزمون:

۱- طول‌موج لیزر مورد آزمون؛

۲- مد کاری (موج پیوسته یا تپی[1])؛

۳- تنظیمات پارامترهای لیزر:

- توان یا انرژی خروجی؛
- ورودی جریان انرژی؛
- انرژی تپ؛
- مدت زمان تپ؛
- نرخ تکرار تپ؛

۴- ساختار مد؛

۵- قطبش؛

1- Pulsed

۶- شرایط محیطی.

ت- اطلاعات مربوط به آزمون و ارزشیابی.

۱- روش آزمون استفاده شده؛

۲- سامانه آشکارسازی و نمونه‌برداری:

- زمان پاسخ سامانه آشکارساز؛
- تأخیر شروع نمونه‌برداری (فقط برای لیزرهای تپی)؛
- بازه زمانی اندازه‌گیری (فقط برای لیزرهای تپی).

۳- روش شکل‌دهی اپتیکی و تضعیف باریکه.

- نوع تضعیف‌کننده؛
- نوع تفکیک‌کننده‌ی باریکه؛
- نوع قطعه کانونی‌کننده.

۴- سایر قطعات و ابزارهای اپتیکی دیگر که برای آزمون به کار می‌روند (قطبش‌گر[1]، تک‌فام‌ساز و غیره).

۵- سایر مشخصات و پارامترهای آزمون که انتخاب شده‌اند (تنظیم روزنه، صفحه مرجع، محور مرجع، مختصات آزمایشگاهی).

ث- نتایج آزمون

۱- پایداری مکانی باریکه (مطابق زیربند ۷-۲)

مکان، z

شرایط پایداری (اختیاری)	کوتاه		متوسط		بلند	
	مقدار آزمون	عدم قطعیت	مقدار آزمون	عدم قطعیت	مقدار آزمون	عدم قطعیت
پایداری مکانی باریکه، Δ						
پایداری مکانی باریکه، Δ_x						
پایداری مکانی باریکه، Δ_y						
زاویه سمتی، ψ						

1- Polarizer

۲- پایداری زاویه‌ای باریکه (مطابق با زیربند ۷-۳)

شرایط پایداری(اختیاری)	کوتاه		متوسط		بلند	
	مقدار آزمون	عدم قطعیت	مقدار آزمون	عدم قطعیت	مقدار آزمون	عدم قطعیت
پایداری زاویه‌ای باریکه، $\delta\alpha$						
پایداری زاویه‌ای باریکه، $\delta\alpha_x$						
پایداری زاویه‌ای باریکه، $\delta\alpha_y$						
زاویه سمتی، ψ'						

پیوست الف
(آگاهی‌دهنده)
انتشار پایداری مطلق باریکه

الف-۱ مقدمه

در ادامه، معادلات انتشار پایداری مکانی باریکه برای حالت آستیگماتیک[1] ارائه شده است. اگر مختصات محور باریکه به‌عنوان دستگاه مختصات انتخاب شود و تعاریف مناسب [$\alpha_x,\ \Delta_x(z')$ و $\alpha_y, \Delta_y(z)$ به‌جای $[\alpha, \Delta(z')$ مورد استفاده قرار گیرند، تمامی معادلات برای حالت آستیگماتیک ساده نیز استفاده می‌شود.

می‌توان نشان داد که انتشار پایداری مکانی باریکه از میان سامانه‌های اپتیکی همانند قطر باریکه است. در فضای آزاد از قانون انتشار به صورت معادله زیر به کار می‌رود:

$$\Delta^2(z) = \Delta_0^2 + (z - z_0)^2 . \alpha^2$$

بنابراین، انتشار پایداری مطلق باریکه می‌تواند توسط سه پارامتر زیر به طور کامل مشخص شود:

۱- مکان z_0 کمینه پایداری باریکه،

۲- مقدار کمینه پایداری مکانی باریکه، Δ_0، و

۳- پایداری زاویه‌ای باریکه، α.

معمولاً مکان z_0 کمینه مقدار پایداری مکانی باریکه با مکان کمر باریکه منطبق نیست.

زمانی که عبارت «قطر باریکه» با «پایداری مکانی مطلق باریکه» جایگزین شود، استاندارد ISO11146 به قوت خود باقی خواهد ماند.

ضرب پارامتر پایداری باریکه، S، به‌صورت حاصل‌ضرب کمینه پایداری مکانی باریکه در طول انتشار و پایداری زاویه‌ای باریکه:

$$S = \alpha \, . \Delta_0$$

با انتشار از میان اولین مرحله سامانه اپتیکی، ثابت است.

یادآوری- برخلاف نسبت انتشار باریکه، حد پایین ضرب پارامتر پایداری باریکه صفر است. مقدار صفر لزوماً به معنای آن نیست که باریکه در میدان نزدیک و میدان دور پایدار است.

1 - Stigmatic

الف-۲ بیشینه و کمینه نسبی پایداری مکانی باریکه

کمیت ثابت دیگری که بسیار مفید است، ضرب پارامتر ترکیبی، P، است که توسط معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$P = \sqrt{d_{\sigma 0}^2 \,.\, \alpha^2 + \Delta(z_0)^2 \,.\, \theta_\sigma^2} = \sqrt{d_\sigma(z_0)^2 \,.\, \alpha^2 + \Delta_0^2 \,.\, \theta_\sigma^2}$$

که در آن:

$d_{\sigma 0}$ قطر کمر باریکه؛

Δ_0 مقدار کمینه پایداری مکانی باریکه؛

$d_\sigma(z_0)$ قطر باریکه در مکانی که پایداری مطلق مکانی باریکه کمترین مقدار خود را دارد؛

$\Delta(z_0)$ مقدار پایداری مطلق مکانی باریکه در محل کمر باریکه.

ضرب پارامتر پایداری باریکه، S، و ضرب پارامتر ترکیبی، P، جهت محاسبه کمینه و بیشینه نسبی پایداری مکانی باریکه می‌توانند مورداستفاده قرار گیرند. ازآنجا که تمام کمیت‌ها، کمیت‌های غیر قابل تغییر هستند، کمینه و بیشینه نسبی پایداری‌های مکانی باریکه به‌خوبی به دست خواهند آمد.

کمینه نسبی پایداری مکانی باریکه به وسیله معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta_{rel,min} = \sqrt{\frac{1}{2}\left[\left(\frac{P}{D.\theta}\right)^2 - \sqrt{\left(\frac{P}{D.\theta}\right)^4 - 4\left(\frac{S}{D.\theta}\right)^2}\right]}$$

و بیشینه نسبی پایداری باریکه به وسیله معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta_{rel,max} = \sqrt{\frac{1}{2}\left[\left(\frac{P}{D.\theta}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{P}{D.\theta}\right)^4 - 4\left(\frac{S}{D.\theta}\right)^2}\right]}$$

الف-۳ روش اجرایی اندازه‌گیری و ارزشیابی

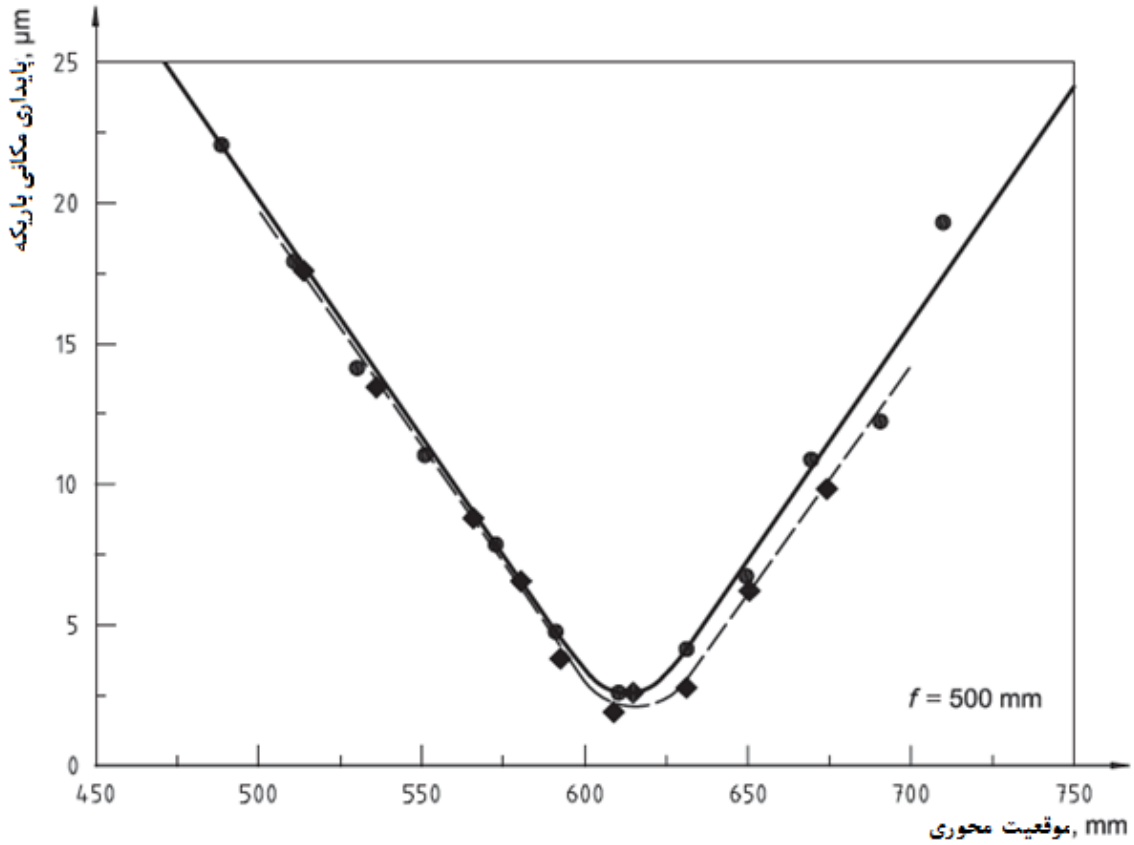
تعیین مکان، z_0 کمینه مقدار پایداری مکانی باریکه، Δ_0 پایداری زاویه‌ای باریکه، α و ضرب پارامتر پایداری باریکه مشابه تعیین ترکیبی پارامترهای انتشار باریکه لیزر در زیربندهای 9 و 10 استاندارد ISO 11146: 1999 است.

بندهای 9 و 10 استاندارد ISO11146: 1999، در صورتی برقرار است که جایگزینی‌های زیر انجام شود:

- قطر کمر با کمینه مقدار پایداری مکانی باریکه؛
- مکان کمر با مکان کمینه مقدار پایداری مکانی باریکه؛

- زاویه واگرایی با پایداری زاویه‌ای باریکه؛
- و ضریب شکست زمان‌های حد[1] (نسبت انتشار باریکه در استاندارد ISO 11146: 1999) با ضرب پارامتر پایداری

به عنوان مثال، پایداری مکانی باریکه اندازه‌گیری شده در طول انتشار با درون‌یابی هذلولی در شکل الف-۱ نشان داده شده است. چشمه باریکه، یک لیزر صنعتی نئودیمیم یاگ کیو سوئیچ[2] است؛ برای اندازه‌گیری از دو دوربین CCD مجزا استفاده شده است.



راهنما

دوربین CCD شماره ۹،

دوربینCCD شماره ۹، درون‌یابی شده

دوربینCCD شماره ۱۱،

دوربینCCD شماره ۱۱، درون‌یابی شده

شکل الف-۱ پایداری مکانی باریکه لیزر نئودیمیم یاگ کیو سوئیچ اندازه‌گیری شده با دو سامانه دوربین CCD مختلف در طول انتشار

1- Time-diffraction-limits
2 - Industrial Q-switch Nd: YAG-laser

پیوست ب
(آگاهی‌دهنده)
تفکیک نوسانات کوتاه مدت و بلندمدت

بیشتر لیزرها در بازه‌های زمانی مختلف، نوسانات را نشان می‌دهند. در کنار آشفتگی‌های بسیار سریع (به عنوان مثال، تغییرات تپ تا تپ)، ممکن است در بازه زمانی طولانی‌تر اتفاقات دیگری نیز رخ دهد. این آشفتگی‌های باریکه معمولاً باهم ترکیب شده و در داخل پایداری مکانی باریکه اندازه‌گیری می‌شوند.

به منظور حذف رانش بلند مدت[1] از اندازه‌گیری‌ها، یکی از دو روش فیلترینگ بالاگذر[2] زیر انجام می‌شود.

الف) روش تبدیل فوریه:

تبدیل فوریه نتایج اندازه‌گیری را به دست آورید. اگر f_m بیانگر بسامد تغییرات کوتاه مدت باشد، بسامدهای بیش از $2f_m$ باید حذف شده و تبدیل معکوس فوریه را به دست آورد.

ب) کسر « میانگین حرکت»

«میانگین حرکت» مقادیر اندازه‌گیری شده را به‌صورت زیر به دست آورده

$$\tilde{x}_j = \frac{1}{2c\frac{f_m}{f_s}+1} \cdot \sum_{i=j-c\frac{f_m}{f_s}}^{j+c\frac{f_m}{f_s}} x_i$$

و از مقدار اندازه‌گیری شده کسر می‌کنیم. f_s بیانگر بسامد نمونه‌برداری و f_m نشان‌دهنده بسامد تغییرات کوتاه‌مدت است. ضریب ثابت، c، بزرگ‌تر از ۲ انتخاب می‌شود. علاوه بر آن، $\frac{c}{f_m}$، کمتر از ۰٫۲ برابر ثابت زمانی نوسانات بلند مدت است، که باید حذف شوند.

اعمال هرکدام از روش‌های اجرایی فوق باید در گزارش آزمون درج شود.

1- Long-term drift
2 - High-pass filtering