استاندارد ملی ایران
۱۱۷۱۰-۲
چاپ اول

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
Institute of Standards and Industrial Research of Iran

ISIRI
11710-2
1st.edition

# لیزرها وتجهیزات مرتبط با لیزر- روش‌های آزمون برای تعیین پهنا، زوایای واگرایی و نسبت انتشار پرتو لیزر- قسمت دوم: پرتوهای آستیگماتیک عمومی

# Lasers and laser-related equipment - Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios - Part 2:General astigmatic beams

ICS:31.260

**بنام خدا**

## آشنایی با موسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران

موسسه استانداردوتحقیقات صنعتی ایران به موجب بندیک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین ومقررات موسسه استاندارو تحقیقات صنعتی ایران،مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعین، تدوین ونشراستاندارد های ملی( رسمی ) ایران را برعهده دارد .

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف کمیسیون فنی مرکب ازکارشناسان موسسه* صاحب نظران مراکز وموسسات علمی، پژوهشی ، تولید واقتصادی آگاه ومرتبط انجام می شود وکوششی همگام بامصالح ملی و باتوجه به شرایط تولیدی، فناوری وتجاری است که از مشارکت اگاهانه ومنصفانه صاحبان حق ونفع ، شامل تولید کنندگان ، مصرف کنندگان ، صادرکنندگان وواردکنندگان، مراکزعلمی وتخصصی، نهادها ، سازمان های دولتی وغیردولتی حاصل می شود.پیش نویس استاندارد های ملی برای نظر خواهی به مراجع ذی نفع و اعضاءکمسیون های فنی مربوطه ارسال می شود. وپس از دریافت نظرهاوپیشنهادها درکمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح درصورت تصویب به عنوان استاندارد ملی(رسمی) ایران چاپ ومنتشر می شود .

پیش نویس استانداردهایی که موسسات وسازمان‌های علاقه مند ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی ودر صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی )چاپ ومنتشر می شود .بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شود که براساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین ودرکمیته ملی استاندارد مربوطه که موسسه استاندارد تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد .

موسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO )[1] کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک(IEC)[2] وسازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی( OIML)[3] است وبه عنوان تنهارابط[4] کمیسیون کدکس غذایی(CAC)[5] درکشورفعالیت می کند . درندوین استاندارد های ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی ونیاز مندی های خاص کشور ، از آخرین پیشرفت های علمی ، فنی وصنعتی جهان و استاندارد های بین المللی بهره گیری می شود.

موسسه استانداردوتحقیقات صنعتی ایران می تواندبارعایت موازین پیش بینی شده درقانون برای حمایت ازمصرف کنندگان،حفظ سلامت وایمنی فردی وعمومی،حصول اطمینان ازکیفیت محصولات وملاحظات زیست محیطی واقتصادی اجرای بعضی ازاستاندارد های ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشورو / یا اقلام وارداتی باتصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. موسسه می تواند به منظورحفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی ودرجه بندی آن را اجباری نماید.و هم‌چنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان ازخدمات سازمان هاو موسسات فعال، در زمینه آموزش، مشاوره ، بازرسی، ممیزی وصدور گواهی سیستم های کیفیت ومدیریت زیست محیطی ، آزمایشگاه ها ومراکزکالیبراسیون( واسنجی) وسایل سنجش، موسسه استاندارد این گونه سازمان ها موسسات رابراساس ضوابط نظام تاییدصلاحیت ایران ارزیابی می کند ودرصورت احرازشرایط لازم،گواهی تایید صلاحیت با آن‌ها اعطاء و برعملکرد آن‌ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکا های کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار قلزات گرانبها وانجام تحقیقات کاربردی برای ارتقاع سطح استاندارد های ملی ایران از دیگر وظایف این موسسه است

---

* موسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران

1- International Organization for standardization
2 -International Electro technical commission
3 - International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal )
4 – Contact point
5 – Codex Alimentations commission

**کمیسیون فنی تدوین استاندارد" لیزرها و تجهیزات مرتبط با لیزر-روش‌های آزمون برای تعیین پهنا، زوایای واگرایی و نسبت انتشار پرتو لیزر-قسمت دوم: پرتوهای آستیگماتیک عمومی"**

| **رئیس:** | **سمت و/ یا نمایندگی** |
| --- | --- |
| منتصری، آتوسا<br>(فوق لیسانس فیزیک پزشکی) | بیمارستان پارس |
| **دبیر:** | |
| منا، نامجو<br>(لیسانس فیزیک کاربردی) | سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران |
| **اعضا:** (اسامی به‌ترتیب حروف الفبا) | |
| اسماعیل‌زاده، امیر<br>(لیسانس مهندسی مکانیک) | شرکت پارس جنوبی |
| بشارت، زهرا<br>(لیسانس فیزیک کاربردی) | سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران |
| حسن‌زاده، نادیا<br>(لیسانس فیزیک کاربردی) | اداره کل استاندارد تحقیقات صنعتی استان تهران |
| علینقیزاده، محمدرضا<br>(فوق لیسانس فیزیک پزشکی) | بیمارستان پارس |
| فیروزی، مینا<br>(لیسانس مهندسی برق و الکترونیک) | شرکت رایان درمان |

# فهرست


پیش‌گفتار و
مقدمه ز
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۱
۴ سیستم‌های مختصات ۵
۵ اصول آزمون ۶
۵-۱ کلیات ۶
۵-۲ ممان‌های فضایی مرتبه دوم توزیع ویگنر ۶
۵-۳ ممان‌های مرتبه دوم توزیع ویگنر ۶
۵-۴ کمیت‌های محاسبه شده ۶
۶ ترتیب اندازه‌گیری و تجهیزات آزمون ۶
۶-۱ کلیات ۶
۶-۲ آماده‌سازی ۶
۶-۳ کنترل محیط ۷
۶-۴ سیستم آشکارساز ۷
۶-۵ سیستم‌های اپتیکی شکل دهی پرتو و تضعیف کننده‌های اپتیکی ۸
۷ اندازه‌گیری ممان‌های مرتبه دوم ۸
۷-۱ کلیات ۸
۷-۲ اندازه‌گیری ممان‌های مرتبه دوم توزیع چگالی توان ۸
۷-۳ اندازه‌گیری همه ممان‌های مرتبه دوم توزیع ویگنر ۱۱
۸ تعیین نسبت انتشار موثر پرتو ۱۳
۹ تعیین آستیگماتیک ذاتی ۱۳
۱۰ تعیین پارامتر پیچش ۱۳
۱۱ گزارش آزمون ۱۴
پیوست الف (اطلاعاتی)کتاب‌نامه ۱۷

## پیش‌گفتار

استاندارد " لیزرها و تجهیزات مرتبط با لیزر-روش‌های آزمون برای تعیین پهنا، زوایای واگرایی و نسبت انتشار پرتو لیزر-قسمت دوم: پرتوهای آستیگماتیک عمومی" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران تهیه و تدوین شده و در یکصد ونود و چهارمین اجلاس کمیتهٔ ملی استاندارد مورخ ۸۷/۸/۲۸ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن‌ماه ۱۳۷۱، به‌عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیهٔ این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 11146-2:2005, Lasers and laser-related equipment —Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios —Part 2: General astigmatic beams

**مقدمه**

ویژگی‌های انتشار هر پرتو لیزر را می‌توان با استفاده از روش ممان مرتبه دوم با ده پارامتر مستقل توصیف کرد(رجوع شود به استاندارد ISO/TR11146-3). اگرچه با توجه به تقارن زیاد، برای توصیف پرتوی بیشتر لیزرهای کاربردی به پارامترهای کمتری نیاز است. بیشتر لیزرهای کاربردی به علت طراحی تشدیدکننده-هایشان پرتوهایی منتشر می‌کنند که اِستیگماتیک یا آستیگمات ساده هستند.

در استاندارد ISO 11146-1، روش‌های اندازه‌گیری برای پرتوهای اِستیگماتیک و آستیگمات ساده را توصیف می‌شود و در این استاندارد، به روند اندازه‌گیری برای پرتوهای آستیگماتیک عمومی پرداخته می‌شود. برای پرتوهای ناشناخته نیز باید روش‌های این استاندارد به‌کار گرفته‌شود. مانند استاندارد ISO 11146-1 توصیف پرتو بر اساس روش ممان مرتبه دوم انجام می‌شود و در این استاندارد، تنها تقریب نزدیک محوری مورد قبول است.

در استاندارد ISO/TR11146-3 که یک گزارش فنی اطلاعاتی است و روش کسر زمینه و تصحیح مقدار جبرانی را شرح می‌دهد، شرح تئوری ویژگی‌ها و انتشار پرتو با توجه به طبقه‌بندی پرتوهای لیزر تعیین شده-است.

دراین استاندارد، از ممان مرتبه دوم توزیع چگالی توان (انرژی) برای تعیین پهن شدگی پرتو استفاده‌شده است. اندازه‌گیری مستقیم این کمیات از پرتو برخی منابع لیزر، ممکن است با مشکلاتی همراه باشد. در این مورد، ممکن است تا بدست آمدن نتیجه، از دیگر روشهای غیر مستقیم اندازه‌گیری ممان مرتبه دوم استفاده شود.

در استاندارد ISO/TR11146-3 سه روش گوناگون برای اندازه‌گیری پهنای پرتو و ارتباط آن‌ها با روش‌های استفاده شده در این استاندارد شرح داده شده است. این روش‌ها عبارتند از:

- روش گشودگی متغیر؛
- روش لبه چاقوی متحرک ؛
- روش شکاف متحرک.

مشکل مربوط به وابستگی نتیجه اندازه‌گیری به محدود بودن حدود منطقه انتگرال گیری، با استفاده از یک تجربه بین‌المللی که در سال ۱۹۹۷ بدست آمد ارزیابی و رسیدگی می‌شود. نتیجه این آزمون تجربی در طول تهیه این استاندارد در نظر گرفته شده‌است.

# لیزرها و تجهیزات مرتبط با لیزر-روش‌های آزمون برای تعیین پهنا، زوایای واگرایی و نسبت انتشار پرتو لیزر-قسمت دوم: پرتوهای آستیگماتیک عمومی

## ۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش‌های اندازه‌گیری پهنای پرتو(قطر)، زوایای واگرایی و نسبت انتشار پرتو لیزر است. این استاندارد، برای پرتوهای آستیگماتیک عمومی و انواع پرتوهای ناشناخته کاربرد دارد. برای پرتوهای اِستگماتیک و آستیگماتیک ساده، باید استاندارد ISO 11146-1 به کار برده شود.

در این استاندارد، برای توصیف پرتو لیزر به جای استفاده از کمیات فیزیکی مثل پهنای پرتو و زوایای واگرایی از ممان مرتبه دوم توزیع ویگنر[1] استفاده شده است. اگرچه این کمیات فیزیکی ارتباط نزدیکی با ممان مرتبه دوم توزیع ویگنر دارند. در استاندراد ISO/TR 11146-3 معادلات مورد نیاز برای محاسبه این کمیات فیزیکی از ممان مرتبه دوم اندازه‌گیری شده تعیین شده است.

## ۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن ها ارجاع داده شده است. بدینترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب میشود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیهها و تجدیدنظرهای بعدی آن موردنظر این استاندارد ملی ایران نیست . در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آنها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

**2-1** ISO 11145, Optics and optical instruments — Lasers and laser-related equipment — Vocabulary and symbols;

**2-2** ISO 11146-1, Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam widths, divergence angles
and beam propagation ratios — Part 1: Stigmatic and simple astigmatic beams

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

## ۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد اصطلاحات با تعاریف زیر و تعاریف ارائه شده در استانداردهای ISO13694, ISO 11145 و IEC 61040 به کار می‌روند:

**یادآوری** همان‌طور که در بند ۴ شرح داده شده است در این اصطلاحات محورهای $x$، $y$ و $z$ منسوب به سیستم آزمایشگاه است. در این بند و در این استاندارد عبارت "توزیع چگالی توان $E(x,y,z)$" منسوب به چشمه موج پیوسته است. این عبارت در خصوص چشمه‌های پالسی باید با "توزیع چگالی انرژی $H(x,y,z)$" جایگزین گردد.

---

1- Wigner distribution

### ۳-۱ قطر پرتو تعمیم یافته

$d_g$

میزان پهن‌شدگی توزیع چگالی توان یک پرتو در یک مقطع عرضی در مکانی از محور z، که با استفاده از معادله زیر از ممان‌های مرتبه دوم مرکزی به‌دست می‌آید:

$$d_g = 2\sqrt{2}\sqrt{\langle x^2\rangle + \langle y^2\rangle} \qquad (۱)$$

**یادآوری** این تعریف، مشابه تعریف قطر پرتو در استاندارد ISO 11145 یا ISO 11146-1 است. ولی در این استاندارد، تعریف به توزیع چگالی توان دایروی محدود نمی‌شود.

### ۳-۲ محل قرار گیری کمر تعمیم یافته

$z_{0,g}$

مکانی که قطر پرتو تعمیم یافته در آن به حداقل مقدار خود در طول محور انتشار می‌رسد.

### ۳-۳ طول ریلی تعمیم یافته[1]

$z_{R,g}$

فاصله از کمر پرتو تعمیم یافته در طول محور پرتو تا جایی که قطر پرتو تعمیم یافته به میزان ضریبی از ۲ √ بزرگتر ار قطر کمر پرتو تعمیم یافته است.

### ۳-۴ توزیع ویگنر[2]

نمایش توزیع فضای فاز یک پرتو لیزر در صفحه معکوس در مکان z.

**یادآوری** توزیع ویگنر تابعی از دو مختصات فضایی و زاویه‌ای است، که مقدار انتشار توان پرتو از میان نقطه *(x,y)* در جهت $(\Theta_x, \Theta_y)$ را تعیین می‌کند.

### ۳-۵ ممان مرتبه اول فضایی توزیع ویگنر

$\langle x\rangle, \langle y\rangle$

زیرمجموعه‌ای از ممان‌های مرتبه اول، که به طور مستقیم از اندازه‌گیری توزیع چگالی توان با استفاده از معادلات زیر بدست می‌آید.

$$\langle x\rangle(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} E(x,y,z)\,x\;\mathrm{d}x\;\mathrm{d}y}{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} E(x,y,z)\,\mathrm{d}x\;\mathrm{d}y} \qquad (۲)$$

و

$$\langle y\rangle(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} E(x,y,z)\,y\;\mathrm{d}x\;\mathrm{d}y}{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} E(x,y,z)\,\mathrm{d}x\;\mathrm{d}y}$$

1- ger

2-

(۳)

$E(x,y,z)$ توزیع چگالی توان در صفحه مشخص $z=$ ثابت، است.

### ۳-۶ ممان‌های مرتبه دوم طول ویگنر

$$\langle x^2\rangle,\ \langle y^2\rangle,\ \langle xy\rangle,\ \langle \Theta_x^2\rangle,\ \langle \Theta_y^2\rangle,\ \langle \Theta_x\Theta_y\rangle,\ \langle x\Theta_x\rangle,\ \langle x\Theta_y\rangle,\ \langle y\Theta_x\rangle,\ \langle y\Theta_y\rangle$$

ده ممان مرتبه دوم توزیع ویگنر پرتو در مکان z است.

**یادآوری۱** ده ممان مرتبه دوم شامل اطلاعات زیر از ویژگی‌های فیزیکی پرتو هستند: اندازه پرتو و جهت‌گیری آن، زوایای واگرایی و جهت‌گیری آن‌ها، شعاع انحنا سهموی فضای فاز و جهت‌گیری آن‌ها و پارامتر پیچش. جزئیات این معادلات در استاندارد ISO/TR 11146-3 تعیین شده‌است.

**یادآوری۲** در استاندارد ISO 11146-1، ممان‌های مرتبه دوم فضایی با $\sigma_x^2$، $\sigma_y^2$ و $\sigma_{xy}^2$ نمایش داده شده است. در این استاندارد و استاندارد ISO/TR 11146-3 برای مشخص کردن مختصـــات ممان‌ها از براکت زاویه‌ای استفاده شده است. یعن

$$\sigma_x^2=\langle x^2\rangle \quad \sigma_y^2=\langle y^2\rangle \quad \sigma_{xy}^2=\langle xy\rangle$$

**یادآوری۳** سه ممان زاویه‌ای $\langle \Theta_x^2\rangle, \langle \Theta_y^2\rangle$ و $\langle \Theta_x\Theta_y\rangle$ مستقل از z هستند. به‌طور کلی هفت ممان مرتبه دوم دیگر تابعی از z هستند.

### ۳-۷ ممان‌های فضایی مرتبه دوم توزیع ویگنر

$$\langle x^2\rangle,\langle y^2\rangle,\langle xy\rangle$$

زیر مجموعه ممان‌های مرتبه دوم که با استفاده از معادلات زیر مستقیم از توزیع چگالی توان بدست می‌آیند.

$$\langle x^2\rangle(z)=\frac{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}E(x,y,z)(x-\langle x\rangle)^2\,dx\,dy}{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}E(x,y,z)\,dx\,dy} \qquad (٤)$$

$$\langle y^2\rangle(z)=\frac{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}E(x,y,z)(y-\langle y\rangle)^2\,dx\,dy}{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}E(x,y,z)\,dx\,dy} \qquad (٥)$$

و

$$\langle xy\rangle(z)=\frac{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}E(x,y,z)(x-\langle x\rangle)(y-\langle y\rangle)\mathrm{d}x\ \ \mathrm{d}y}{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}E(x,y,z)\mathrm{d}x\ \ \mathrm{d}y} \quad (۶)$$

### ۳-۸ ماتریس پرتو

$\boldsymbol{P}$

ماتریس ۴×۴ معین، مثبت و متقارنی است که شامل هر ده ممان مرتبه دوم ویگنر است. و عناصر آن به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$\boldsymbol{P}=\begin{bmatrix}\langle x^2\rangle & \langle xy\rangle & \langle x\Theta_x\rangle & \langle x\Theta_y\rangle\\ \langle xy\rangle & \langle y^2\rangle & \langle y\Theta_x\rangle & \langle y\Theta_y\rangle\\ \langle x\Theta_x\rangle & \langle y\Theta_x\rangle & \langle\Theta_x^2\rangle & \langle\Theta_x\Theta_y\rangle\\ \langle x\Theta_y\rangle & \langle y\Theta_y\rangle & \langle\Theta_x\Theta_y\rangle & \langle\Theta_y^2\rangle\end{bmatrix} \quad (۷)$$

### ۳-۹ نسبت انتشار موثر پرتو

$M_{\mathrm{eff}}^2$

کمیتی ثابت، مربوط به قابلیت کانونی شدن پرتو آستیگماتیک عمومی است و به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$M_{\mathrm{eff}}^2=\frac{4\pi}{\lambda}\left[\det(\boldsymbol{P})\right]^{\frac{1}{4}} \quad (۸)$$

که در آن $\det(\boldsymbol{P})$ دترمینان ماتریس $\boldsymbol{P}$ است.

**یادآوری۱** نسبت انتشار موثر پرتو $M_{\mathrm{eff}}^2$ کمیتی ثابت مربوط به گستردگی کلی پرتو، یا تمرکز میدان پرتو در دور و نزدیک است.

**یادآوری۲** برای پرتوهای آستیگماتیک ساده، نسبت انتشار موثر پرتو، میانگین هندسی نسبت انتشار پرتو از محور اصلی پرتو است: $M_{\mathrm{eff}}^2=\sqrt{M_x^2\times M_y^2}$ و برای پرتوهای اِستیگماتیک $M_{\mathrm{eff}}^2=M^2$ می‌باشد.

### ۳-۱۰ آستیگماتیک ذاتی

$a$

میزان درجه نزدیکی که یک پرتو آستیگماتیک عمومی به پرتوی اِستیگماتیک داشته‌باشد به‌طوری‌که با استفاده از عدسی و فضای آزاد بتواند تغییر شکل دهد.

$$a=\frac{8\pi^2}{\lambda^2}\left(\left(\langle x^2\rangle\langle\Theta_x^2\rangle-\langle x\Theta_x\rangle^2\right)+\left(\langle y^2\rangle\langle\Theta_y^2\rangle-\langle y\Theta_y\rangle^2\right)+2\left(\langle xy\rangle\langle\Theta_x\Theta_y\rangle-\langle x\Theta_y\rangle\langle y\Theta_x\rangle\right)\right)-\left(M_{\mathrm{eff}}^2\right)^2\geqslant 0 \quad (۹)$$

**یادآوری** پرتوها با توجه به آستیگماتیک ذاتیشان $a$ که یک کمیت ثابت است، دسته‌بندی می‌شوند. پرتو با a=0 اِستیگماتیک ذاتی نامیده می‌شود، پرتو با a>0 آستیگماتیک ذاتی نامیده می‌شود. برای پرتوهای آستیگماتیک ساده $a = (1/2)\left(M_x^2 - M_y^2\right)^2$. جزئیات بیش‌تر در استاندارد ISO/TR 11146-3 مشخص شده‌است.

### ۳-۱۱ پارامتر پیچش

t پارامتر مربوط به ویژگی‌های چرخشی وجه روبرویی پرتو است، که با معادله زیر به اندازه‌حرکت زاویه‌ای اربیتالی مرتبط می‌شود:

$$t = \left\langle x\Theta_y \right\rangle - \left\langle y\Theta_x \right\rangle \qquad (۱۰)$$

**یادآوری** پارامتر پیچش، تحت انتشار از میان فضای آزاد و عدسی‌های کروی ثابت می‌ماند. این کمیت ممکن است تحت عبور پرتو از میان عدسی‌های استوانه‌ای تغییر کند.

### ۳-۱۲ محور اصلی توزیع چگالی توان

محور حداکثر و حداقل پهن‌شدگی پرتو بر اساس ممان مرتبه دوم مرکزی توزیع چگالی توان در یک مقطع عرضی است.

**یادآوری** محور حداکثر و حداقل پهن‌شدگی همیشه بر هم عمود هستند.

### ۳-۱۳ جهت‌گیری یک توزیع چگالی توان

$\varphi$

زاویه بین محور x از سیستم آزمایشگاهی و محور اصلی توزیع چگالی توان که به محور x نزدیک‌تر است.

**یادآوری** از این تعریف استنباط می‌شود که برای $|\varphi| \neq$ л/۴، $-$л/۴$<\varphi<$ л/۴ ؛ اگر $\varphi = \pm$ л/۴، $\varphi$ به عنوان زاویه بین محور x و محور اصلی بزرگتر ( محور حداکثر پهن‌شدگی) از توزیع چگالی توان است.

### ۳-۱۴ پهنای پرتو

$d_{\sigma y}$ ،$d_{\sigma x}$

پهن‌شدگی یک توزیع چگالی توان در مقطع عرضی پرتو، در مکانی از محور z در طول محور اصلی که به محورهای $x$ یا $y$ سیستم مختصات آزمایشگاهی نزدیک‌تر است، که به ترتیب بر اساس ممان مرتبه دوم توزیع چگالی توان می‌باشد.

**یادآوری۱** اگر محور اصلی با محور x و y سیستم مختصات آزمایشگاهی زاویه л/۴ بسازد، در نتیجه طبق قرارداد $d_{\sigma x}$ بزرگ‌ترین پهنای پرتو است.

## ۴ سیستم‌های مختصات

محورهای $x$، $y$ و $z$ در سیستم آزمایشگاه جهت‌های فضایی عمود بر هم را مشخص می‌کند و باید توسط کاربر مشخص شوند. محور $z$ باید بر راستای پرتو منطبق باشد. محور $x$ و $y$ محورهای متقاطع هستند، برخی مواقع

به ترتیب، افقی و عمودی می‌باشند. مبدا محور z در صفحه مرجع $x$-$y$ توسط سازنده مشخص می‌شود، برای مثال، جلوی محافظ لیزر.

## ۵ اصول آزمون

### ۵-۱ کلیات

اصول آزمون زیر تنها در خصوص پرتو های آستیگماتیک عمومی معتبر است برای پرتوهـای اِسـتیگماتیک و آستیگماتیک ساده باید استاندارد ISO 11146-1 به‌کارگرفته‌شود.

### ۵-۲ ممان‌های فضایی مرتبه دوم توزیع ویگنر

ممان‌های فضایی مرتبه دوم با به‌دست آوردن توزیع چگالی توان با استفاده از آشکارسازهای تفکیـک فضـایی حاصل می‌شود، نیمرخ‌هایی که اندازه‌گیری‌شده است را تصحیح کنیـد و ممـان مرتبـه اول و دوم را محاسـبه کنید.

### ۵-۳ ممان‌های مرتبه دوم توزیع ویگنر

برای تعیین هر ده ممان مرتبه دوم به دو ترتیب اندازه‌گیری مختلف نیاز است.

هشت تا از ده ممان مرتبه دوم و جمع $\left|\left\langle x\Theta_y\right\rangle+\left\langle y\Theta_x\right\rangle\right|$ استفاده از توزیع چگالی تـوان در راسـتای محـور انتشار z در صفحات مختلف نزدیک به محل کمر تعمیم یافته به‌دست می‌آید، سه تا از ممان های مرتبه دوم از هر نیمرخ توان مورد اندازه‌گیری را محاسبه کنید و سه سهموی غیروابسته را با آن‌ها انطباق دهید.

تفاضل $\left|\left\langle x\Theta_y\right\rangle-\left\langle y\Theta_x\right\rangle\right|$ با استفاده از ممان‌های فضایی توزیع چگالی توان که پشت یک عدسی اسـتوانه ای اندازه‌گیری شده‌است به‌دست می‌آید.

### ۵-۴ کمیت‌های محاسبه شده

نسبت انتشار موثر پرتو $M_{eff}^2$ ، آستیگماتیک ذاتی $a$، و پارامتر پیچش $t$، با توجه به معادلات( ۸ ) تا (۱۰) از ممان‌های مرتبه دوم توزیع ویگنر به‌دست می‌آیند.

## ۶ ترتیب اندازه‌گیری و تجهیزات آزمون

### ۶-۱ کلیات

آزمون‌ها بر اساس اندازه‌گیری مقطع عرضی توزیع چگالی توان کل پرتو لیزر انجام می‌شود.

### ۶-۲ آماده‌سازی

محور اپتیکی سیستم اندازه‌گیری باید با پرتوی که اندازه‌گیری می‌شود هم‌محور باشد. به این منظور ابزار تطبیق اپتیکی مناسبی در دسترس است. ( به طور مثال لیزرهای تراز[1] یا آینه‌های راهبری[2]).

دهانه سیستم اپتیکی باید تمام سطح مقطع پرتو لیزر را از خود عبور دهد. اتلاف ناشـی از حـذف قسـمتی از پرتو، باید کم‌تر از ۱٪ کل انرژی یا توان پرتو باشد.

---

[1]- aligning laser
[2]- steering mirrors

اجزای اپتیکی تضعیف کننده یا شکل‌دهنده پرتو باید به نحوی سوار شوند که محور اپتیکی از میان مرکز هندسی آن‌ها عبور کند. باید مراقب بود تا از خطای سیستماتیک جلوگیری شود. بازتاب، اثرهای تداخلی، بازتاب نور محیطی، تشعشع حرارتی یا جریان‌های هوا همه دلایل افزایش عدم قطعیت می‌باشند.
برای تعیین این‌که آیا کل پرتو لیزر به سطح آشکارساز می‌رسد یا خیر، باید برآوردی انجام شود. برای آزمون این مطلب، می‌توان گشودگی‌هایی را با پهناهای گوناگون در مقابل هر جزء اپتیکی در مسیر پرتو قرار داد. گشودگی که سیگنال خروجی را ۰٫۵٪ کاهش می‌دهد باید قطری کمتر از ۰٫۸ برابر گشودگی اجزای اپتیکی داشته باشد.

### ۶-۳ کنترل محیط

برای اطمینان از اینکه سهم خطای احتمالی کل در پارامترهای اندازه‌گیری شده پایین باشد، باید اقدامات مناسبی مانند برپایی آزمون با عایق‌کاری مکانیکی و آکوستیکی، حفاظت در برابر تشعشعات خارجی، تثبیت دمای آزمایشگاه و انتخاب تقویت کننده با نوفه پایین انجام گردد.
برای اطمینان از اینکه محیط جوی مسیر پرتو لیزرهای توان بالا آری از گازها یا بخاراتی است که می‌توانند تشعشع لیزر را جذب نمایند و منجر به اغتشاشات حرارتی در پرتو در حال اندازه‌گیری شوند، باید مراقبت-های لازم انجام گردد.

### ۶-۴ سیستم آشکارساز

اندازه‌گیری مقطع عرضی توزیع چگالی توان نیازمند استفاده از یک سیستم آشکارساز با توان تفکیک فضایی بالا و هم‌چنین نسبت سیگنال به نوفه بالا می‌باشد.
صحت اندازه‌گیری به طور مستقیم با تفکیک پذیری فضایی سیستم آشکارساز و نسبت سیگنال به نوفه در ارتباط است. این مورد برای پرتوهای لیزر با چگالی توان پایین در قطرهای بزرگتر مهم است.( به عنوان مثال برای قسمت‌های پراشیده پرتوهای لیزر).
**یادآوری** برای سیستم‌های آشکارساز پیکسلی، توان تفکیک فضایی باید حداقل یک بیستم پهنای پرتو یا قطر پرتو باشد.
در عمل، ممکن است نوفه در حواشی توزیع چگالی توان $E(x,y,z)$ به راحتی بر انتگرال ممان مرتبه دوم غلبه‌کند. بنابراین به طور معمول، روش تصحیح زمینه باید به‌کارگرفته شود. برای جزئیات بیشتر به استاندارد ISO/TR11146-3 مراجعه شود.
سیستم آشکارساز باید با استاندارد IEC 61010:1990 مطابق باشد، به ویژه با بندهای ۳ و ۴، به‌علاوه نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- باید مراقب بود که آستانه تخریب صفحه آشکارساز معلوم باشد تا توسط پرتو لیزر از آن تجاوز نشود.
- با استفاده از داده‌های تولیدکننده یا با اندازه‌گیری باید وابستگی خطی کمیت خروجی سیستم آشکارساز (مثل ولتاژ) به کمیت ورودی ( توان لیزر) تاییدشود. هر وابستگی طول موجی، غیرخطی بودن یا غیر یکنواختی آشکارساز یا وسیله الکترونیکی باید حداقل باشد یا با استفاده از روش اجرایی کالیبراسیون تصحیح گردد.

- وقتی‌که برای تعیین توزیع چگالی توان از یک وسیله اسکن کننده استفاده‌می‌شود، باید مراقب بود تا خروجی لیزر در طول کل دوره اسکن کردن دارای پایداری مکانی و زمانی باشد.
- هنگام اندازه‌گیری پرتو لیزرهای پالسی، تاخیر زمانی نمونه‌گیری به همان اندازه مدت زمان اندازه-گیری نقش مهمی را ایفا می‌کند، به علت اینکه ممکن است در طول یک پالس پارامترهای پرتو تغییر کنند. بنابراین مشخص نمودن این پارامترها در گزارش آزمون لازم است.

### ۶-۵ سیستم‌های اپتیکی شکل دهی پرتو و تضعیف کننده‌های اپتیکی

اگر سطح مقطع عرضی پرتو از سطح آشکارساز بزرگ‌تر باشد، برای کاهش سطح مقطع پرتو روی سطح آشکارساز باید از یک سیستم اپتیکی مناسب استفاده شود. تغییر در بزرگ‌نمایی باید در طول ارزیابی در نظر گرفته‌شود.

سیستم اپتیکی باید متناسب با طول موج انتخاب شود.

تضعیف کننده‌های اپتیکی باید هنگامی استفاده شوند که توان خروجی یا چگالی توان بیش‌تر از محدوده کاری (خطی) یا آستانه تخریب باشد. هر طول موج، قطبش و وابستگی زاویه‌ای، غیر خطی بودن یا غیر یکنواختی، شامل اثرهای حرارتی تضعیف‌کننده‌های اپتیکی، باید حداقل شود یا با استفاده از روش‌های اجرایی کالیبراسیون تصحیح گردد.

هیچ یک از عناصر اپتیکی استفاده شده نباید به طور قابل ملاحظه‌ای توزیع چگالی توان مربوطه را تحت تاثیر قراردهند.

## ۷ اندازه‌گیری ممان‌های مرتبه دوم

### ۷-۱ کلیات

قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها، لیزر باید برای رسیدن به حالت تعادل، حداقل برای یک ساعت روشن باشد تا گرم گردد (مگراینکه توسط سازنده روش دیگری بیان شده باشد.) اندازه‌گیری‌ها باید در شرایط عملکردی که توسط سازنده برای ارزیابی نوع لیزر مشخص شده است انجام شود.

### ۷-۲ اندازه‌گیری ممان‌های مرتبه دوم توزیع چگالی توان

ممان‌های فضایی مرتبه دوم از اندازه‌گیری توزیع‌های چگالی توان تصحیح شده محاسبه می‌شوند. انتگرال-گیری‌های متناظر روی یک زیر مجموعه از داده‌های اندازه‌گیری شده انجام می‌گردد که سطح انتگرال گیری نامیده می‌شود، و این بدان علت است که نوفه در داده‌ها ممکن است در انتگرال‌گیری تاثیر بسزایی داشته باشد.

در بسیاری از موارد، انتخاب یک سطح انتگرال‌گیری مناسب برای بدست آوردن نتیجه معتبر تعیین‌کننده است. روش زیر اندازه و موقعیت سطح انتگرال‌گیری را به اندازه و موقعیت توزیع چگالی توان اندازه‌گیری شده که در ابتدا ناشناخته است، مرتبط می‌سازد. از این رو روشی در زیر شرح داده شده‌است.

همه انتگرال‌گیری‌ها با توجه به معادلات (۲) تا (۶) روی یک سطح انتگرال‌گیری مستطیلی که

الف- با پرتو هم مرکز است؛

ب- با ممان‌های فضایی مرتبه اول معین می‌شود؛

پ- موازی با محور اصلی توزیع چگالی توان جهت گیری می‌کند و
ت- اندازه آن سه برابر پهنای پرتو $d_{\sigma x}$ و $d_{\sigma y}$ است، انجام می‌شود (به شکل ۱ مراجعه شود.).
از آنجا که جهت‌گیری مرکزیت پرتو و پهنای پرتو در ابتدا ناشناخته هستند، روش در ابتدا با تخمینی برای سطح انتگرال‌گیری آغاز می‌شود. از مقادیر اولیه وضعیت، اندازه و جهت گیری پرتو برای تعیین مجدد سطح انتگرال‌گیری استفاده می‌شوند. از سطح انتگرال‌گیری جدید، مقادیر جدید برای اندازه، جهت گیری و وضعیت پرتو محاسبه می‌شود. این روش باید تا زمان نزدیک شدن به نتیجه ادامه یابد.
با استفاده از معادلات زیر می‌توان جهت‌گیری محور اصلی توزیع چگالی توان ، یا زاویه سمتی $\varphi$، را از ممان-های مرتبه دوم توزیع چگالی توان بدست آورد:

برای $\left\langle x^2 \right\rangle \neq \left\langle y^2 \right\rangle$ ؛

$$\varphi(z) = \frac{1}{2}\arctan\left[2\langle xy\rangle \Big/ \left(\left\langle x^2 \right\rangle - \left\langle y^2 \right\rangle\right)\right] \qquad (۱۱)$$

$\varphi(z)$ برای $\left\langle x^2 \right\rangle = \left\langle y^2 \right\rangle$ با معادله زیر بدست می‌آید :

$$\varphi(z) = \operatorname{sgn}\left(\langle xy\rangle\right) \times \frac{\pi}{4} \qquad (۱۲)$$

که در آن

$$\operatorname{sgn}\left(\langle xy\rangle\right) = \frac{\langle xy\rangle}{\left|\langle xy\rangle\right|} \qquad (۱۳)$$

پهنای پرتو در راستای محور اصلی پرتو با معادله زیر مشخص می‌شود:

$$d_{\sigma x}(z) = 2\sqrt{2}\left\{\left\langle x^2 \right\rangle + \left\langle y^2 \right\rangle + \gamma\left[\left(\left\langle x^2 \right\rangle - \left\langle y^2 \right\rangle\right)^2 + 4\left(\langle xy\rangle\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}\right\}^{\frac{1}{2}} \qquad (۱۴)$$

$$d_{\sigma y}(z) = 2\sqrt{2}\left\{\left\langle x^2 \right\rangle + \left\langle y^2 \right\rangle - \gamma\left[\left(\left\langle x^2 \right\rangle - \left\langle y^2 \right\rangle\right)^2 + 4\left(\langle xy\rangle\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}\right\}^{\frac{1}{2}} \qquad (۱۵)$$

که در آن

$$\gamma = \operatorname{sgn}\left(\left\langle x^2 \right\rangle - \left\langle y^2 \right\rangle\right) = \frac{\left\langle x^2 \right\rangle - \left\langle y^2 \right\rangle}{\left|\left\langle x^2 \right\rangle - \left\langle y^2 \right\rangle\right|} \qquad (۱۶)$$

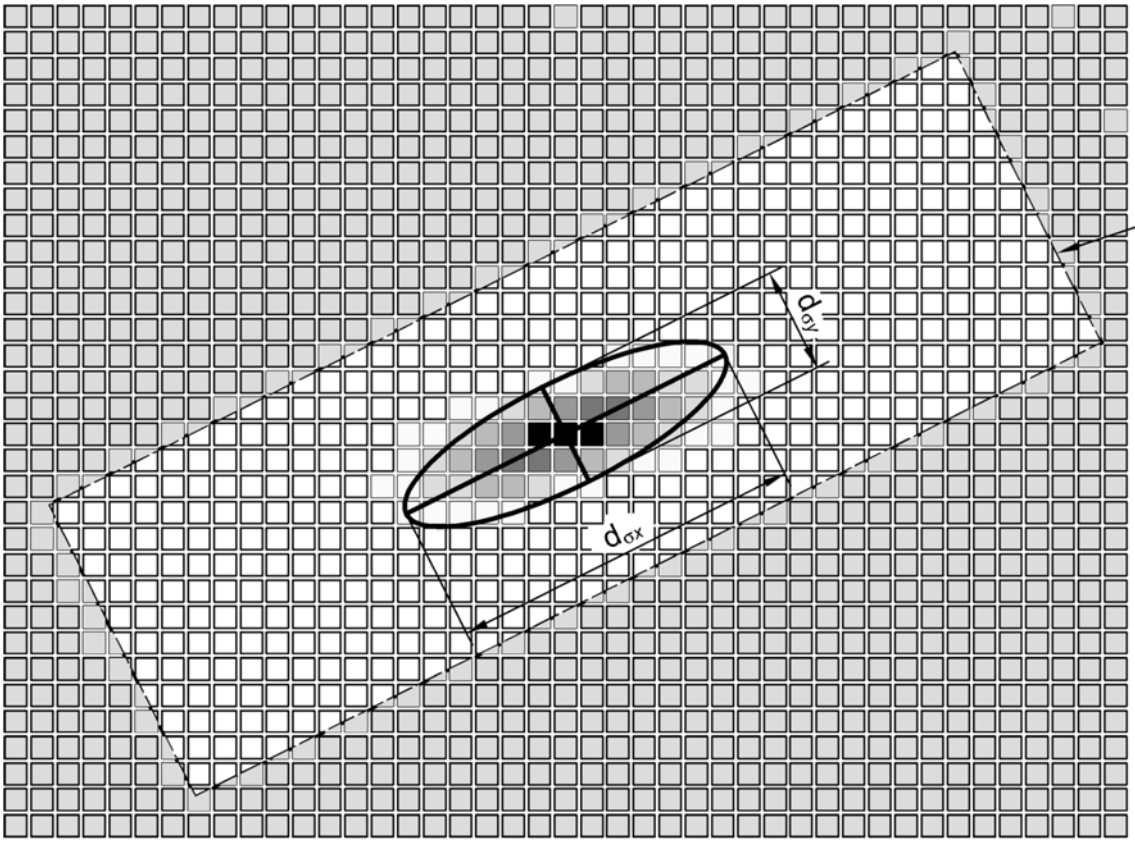
معدلات (۱۴) و (۱۵) تنها برای $\left\langle x^2 \right\rangle \neq \left\langle y^2 \right\rangle$ معتبر اس

این معادلات برای $\left\langle x^2 \right\rangle = \left\langle y^2 \right\rangle$ باید با معادلات زیر جایگزین شوند.

$$d_{\sigma x}(z) = 2\sqrt{2}\left(\left\langle x^2 \right\rangle + \left\langle y^2 \right\rangle + 2\left\langle xy \right\rangle\right)^{\frac{1}{2}} \quad (۱۷)$$

$$d_{\sigma y}(z) = 2\sqrt{2}\left(\left\langle x^2 \right\rangle + \left\langle y^2 \right\rangle - 2\left\langle xy \right\rangle\right)^{\frac{1}{2}} \quad (۱۸)$$

این محاسبات برای هر اندازه‌گیری و مقدار میانگین و انحراف معیار پهنای پرتو و زاویه سمتی محاسبه شده، انجام می‌شود.




**راهنمای شکل:**

۱ دور سطح انتگرال گیری

**شکل۱-سطح انتگرال‌گیری**

## ۳-۷ اندازه‌گیری همه ممان‌های مرتبه دوم توزیع ویگنر

برای صحت کافی و متوازن هر ده ممان مرتبه دوم، نیمرخ‌های چگالی توان برای حداقل بیست مکان $z$ با توزیع برابر، باید قبل و بعد از تعمیم کمره پرتو در یک گستره از حداقل سه طول تعمیم یافته ریلی به‌دست آید. اگر کمر پرتو تعمیم یافته از اندازه‌گیری مستقیم به‌دست نیاید، باید با استفاده از یک عدسی بدون ابیراهی و یا یک سیستم کانونی کننده، کمر پرتو مصنوعی ایجاد کرد.

با به‌دست آوردن توزیع چگالی توان در فاصله $\Delta z$ از صفحه مرجع یا صفحه اصلی پشتی سیستم کانونی کننده، باید با توجه به بند ۷-۲ به ترتیب ممان های فضایی $\langle x^2\rangle(\Delta z), \langle y^2\rangle(\Delta z), \langle xy\rangle(\Delta z)$ محاسبه شود. ممان‌های مرتبه دوم $\langle x^2\rangle_0, \langle y^2\rangle_0, \langle xy\rangle_0, \langle \Theta_x^2\rangle_0, \langle \Theta_y^2\rangle_0, \langle \Theta_x\Theta_y\rangle_0 \langle x\Theta_x\rangle_0, \langle y\Theta_y\rangle_0$ و کمیت

$$s_0 = \langle x\Theta_y\rangle_0 + \langle y\Theta_x\rangle_0 \quad (۱۹)$$

در صفحه مرجع یا صفحه اصلی پشتی سیستم کانونی کننده، به ترتیب با انطباق سه سهموی غیروابسته به ممان‌های فضایی در صفحات اندازه‌گیری شده با استفاده از معادلات زیر به‌دست می‌آید.

$$\langle x^2\rangle(\Delta z) = \langle x^2\rangle_0 + 2\Delta z\langle x\Theta_x\rangle_0 + \Delta z^2\langle \Theta_x^2\rangle_0 \quad (۲۰)$$

$$\langle xy\rangle(\Delta z) = \langle xy\rangle_0 + \Delta z s_0 + \Delta z^2\langle \Theta_x\Theta_y\rangle_0 \quad (۲۱)$$

$$\langle y^2\rangle(\Delta z) = \langle y^2\rangle_0 + 2\Delta z\langle y\Theta_y\rangle_0 + \Delta z^2\langle \Theta_y^2\rangle_0 \quad (۲۲)$$

برای انتخاب مناسب وضعیت‌های صفحه اندازه‌گیری لازم است که فاصله محل کمر پرتو تعمیم یافته از موقعیت مرجع یا صفحه پشتی سیستم کانونی کننده $\Delta z_{0,g}$ و گستره ریلی تعمیم یافته $z_{R,g}$ با استفاده از معادلات زیر تعیین گردد:

$$\Delta z_{0,g} = -\frac{\langle x\Theta_x\rangle_0 + \langle y\Theta_y\rangle_0}{\langle \Theta_x^2\rangle_0 + \langle \Theta_y^2\rangle_0} \quad (۲۳)$$

$$z_{R,g} = \sqrt{\frac{\langle x^2\rangle + \langle y^2\rangle}{\langle \Theta_x^2\rangle + \langle \Theta_y^2\rangle} - \frac{\left(\langle x\Theta_x\rangle + \langle y\Theta_y\rangle\right)^2}{\left(\langle \Theta_x^2\rangle + \langle \Theta_y^2\rangle\right)^2}} \quad (۲۴)$$

برای تعیین ممان‌های مرتبه دوم $\langle x\Theta_y\rangle_0 \quad \langle y\Theta_x\rangle_0$ باید یک عدسی استوانه‌ای با فاصله کانونی $f_c$ با جهت گیری کانونی افقی، در فاصله $\Delta z=\Delta z_c$ از صفحه مرجع یا صفحه پشتی سیستم $\langle xy\rangle_h$ کننده، قرار داده شود(به شکل ۲ مراجعه شود). چگالی توزیع توان بایستی در صفحه پشتی عدسی استوانه‌ای



$\langle xy\rangle_v$

بدست‌آید. ممان فضایی مرتبه دوم با توجه به بند ۷-۲ محاسبه می‌شود و به صورت نمایش داده می‌شود. عدسی استوانه‌ای باید چرخانده شود تا جهت گیری کانونی عمودی ایجاد گردد. (به شکل ۳ مراجعه شود). در این حالت نیز باید توزیع چگالی توان در صفحه کانون پشتی دوباره بدست‌آید. ممان فضایی مرتبه دوم $\langle xy \rangle$ با توجه به بند ۷-۲ محاسبه می‌شود و به صورت $\langle xy \rangle_{\mathsf{v}}$ بیان می‌گردد.

**یادآوری** عدسی استوانه ای با طول کانونی $f_c=z_{R,g}$ لازم است. این عدسی، اندازه مناسب پرتو را در صفحه کانونی پشتی عدسی استوانه‌ای قطعی می‌سازد.

در قدم بعد، باید ممان های مرتبه دوم $\langle x\Theta_y \rangle_0$ و $\langle y\Theta_x \rangle_0$ در صفحه $z=0$ با استفاده از معادلات زیر محاسبه شود.

$$\langle x\Theta_y \rangle_0 = \frac{s_0}{2} + \frac{1}{2f_{\mathsf{c}}}\left(\langle xy \rangle_{\mathsf{v}} - \langle xy \rangle_{\mathsf{h}}\right) \qquad (۲۵)$$

$$\langle y\Theta_x \rangle_0 = \frac{s_0}{2} - \frac{1}{2f_{\mathsf{c}}}\left(\langle xy \rangle_{\mathsf{v}} - \langle xy \rangle_{\mathsf{h}}\right) \qquad (۲۶)$$

اگر برای ایجاد یک کمر مصنوعی از سیستمی کانونی کننده استفاده شده‌باشد، برای بدست آوردن ده ممان مرتبه دوم در صفحه مرجع از ده ممان مرتبه دوم به‌دست‌آمده، باید از روش زیر استفاده شود.

هر ده ممان مرتبه دوم را در یک ماتریس پرتو $\boldsymbol{p}_0$ (به بند ۳رجوع شود) مرتب کنید. ماتریس $\boldsymbol{p}_{\mathrm{ref}}$ از صفحه مرجع را با استفاده از معادله زیر محاسبه کنید:

$$\boldsymbol{P}_{\mathsf{ref}} = \boldsymbol{S} \times \boldsymbol{P}_0 \times \boldsymbol{S}^{\mathsf{T}} \qquad (۲۷)$$

که در آن $\boldsymbol{S}$ ماتریس سیستم اپتیکی هندسی معکوس است، که انتشار پرتو از صفحه مرجع به صفحه اصلی پشتی سیستم کانونی کننده را نمایش می‌دهد و $\boldsymbol{S}^T$ ترانهاده ماتریس $\boldsymbol{S}$ است. فرض کنید که یک عدسی کروی نازک انتخاب شده است و محور اصلی $Z$ در مرکز عدسی قرار گرفته است، این ماتریس سیستمی به صورت زیر است:

$$\boldsymbol{S} = \begin{Bmatrix} 1-\frac{L}{f} & 0 & -L & 0 \\ 0 & 1-\frac{L}{f} & 0 & -L \\ \frac{1}{f} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{1}{f} & 0 & 1 \end{Bmatrix} \qquad (۲۸)$$

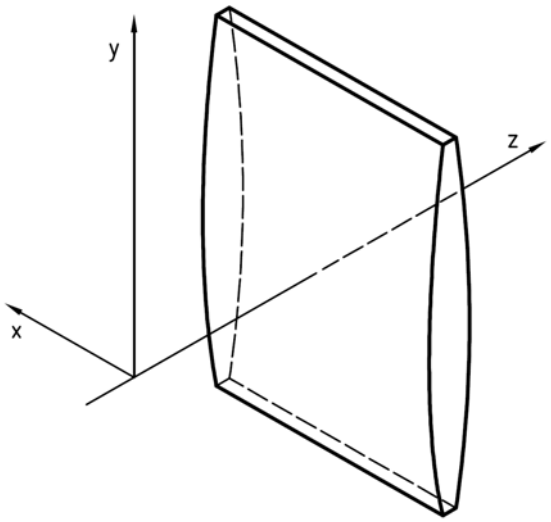
که در آن

$L$ فاصله بین صفحه مرجع و عدسی است؛

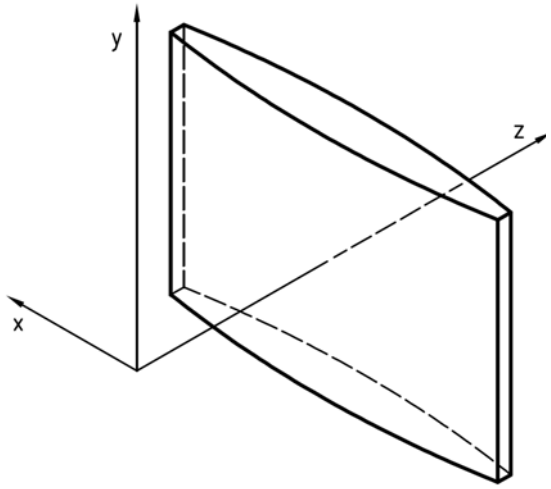
$f$ طول کانونی است.

اگر از عناصر کانونی کننده دیگری مثل عدسی‌های کروی ضخیم یا مجموعه‌ای از عدسی‌ها استفاده شده-باشد، برای چگونگی بدست آوردن ماتریس $\boldsymbol{S}$ به استاندارد ISO/TR 11146-3 مراجعه شود.

ممان‌های مرتبه دوم مطلوب در صفحه مرجع، عناصر ماتریس $\boldsymbol{p}_{\mathrm{ref}}$ هستند.




**شکل۳-عدسی استوانه‌ای در جهت‌گیری کانونی عمودی**




**شکل۲-عدسی استوانه‌ای در جهت‌گیری کانونی افقی**

## ۸ تعیین نسبت انتشار موثر پرتو

نسبت انتشار موثر پرتو با استفاده ار معادله (۸) محاسبه می‌شود، که در آن $\boldsymbol{P}$ ماتریس پرتو است، که شامل هر ده ممان مرتبه دوم توزیع ویگنر که مطابق با بند ۷ تعیین می‌شود، می‌باشد. اطلاعات بیشتر در استاندارد ISO/TR11146-3 مشخص شده است.

## ۹ تعیین آستیگماتیک ذاتی

کمیت ثابت دیگر در طول انتشار، آستیگماتیک ذاتی $a$ می‌باشد که با استفاده از معادله (۹) تعیین می‌گردد. پرتوها با توجه به آستیگماتیک ذاتیشان دسته‌بندی می‌شوند. پرتویی با $a=0$ اِستیگماتیک ذاتی نامیده می-شود، پرتویی با $a>0$ آستیگماتیک ذاتی نامیده می‌شود. برای تعیین آستیگماتیک ذاتی، اندازه‌گیری هر ده ممان مرتبه دوم توزیع ویگنر مطابق با آنچه در بند ۷ شرح داده شده است ضروری است. اطلاعات بیشتر در استاندارد ISO/TR11146-3 مشخص شده است.

## ۱۰ تعیین پارامتر پیچش

بعد از تعیین ممان مرتبه دوم توزیع ویگنر با توجه به بند ۷ پارامتر پیچش از معادله (۱۰) محاسبه می‌شود.

## ۱۱ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد.

**الف- اطلاعات عمومی**

۱- آزمون‌ها با توجه به چه استاندارد ملی انجام گردیده‌است؛

۲- داده‌های آزمون؛

۳- نام و آدرس سازمان آزمون‌کننده؛

۴- نام آزمون‌کننده؛

**ب- اطلاعات مربوط به لیزر مورد آزمون**

۱- نوع؛

۲- تولیدکننده؛

۳- روش شناسه‌گذاری تولیدکننده؛

۴- شماره سریال؛

**پ- شرایط آزمون**

۱- طول موج (ها) لیزر در هر آزمون ؛

۲- دما به کلوین ( مایع خنک کننده لیزر دیودی) (تنها برای لیزرهای دیودی کاربرد دارد)؛

۳- مد عملکرد (موج ممتد(CW) یا پالسی)؛

۴- تنظیمات پارامتر لیزر:

- توان یا انرژی خروجی،

- جریان یا انرژی ورودی،

- انرژی پالسی،

- طول عمر پالس،

- نرخ تکرار پالس؛

۵- ساختار مد؛

۶- قطبش؛

۷- شرایط محیطی.

**ت- اطلاعات مربوط به آزمون و ارزیابی**

۱- تجهیزات آزمون

- دوربین □

- حفره متحرک □

۲- آشکار ساز و سیستم آماده سازی:

- زمان پاسخ سیستم آشکارساز،
- تاخیر زمانی نمونه‌گیری(تنها برای لیزرهای پالسی)،
-اندازه‌گیری وقفه زمانی (تنها برای لیزرهای پالسی)؛
۳- سیستم اپتیکی شکل دهی پرتو و روش تضعیف:
- نوع تضعیف کننده،
- نوع برش دهنده بیم،
- عنصر کانونی کننده؛
۴- اجزاء اپتیکی دیگر و وسایل استفاده شده برای آزمون (قطبی‌کننده[۱] ، تک‌رنگ‌کننده[۲] و غیره)
۵- دیگر پارامترهای مربوط یا ویژگی‌های آزمون که باید انتخاب شود (تنظیمات دستگاه، صفحه مرجع، محور مرجع سیستم آزمایشگاهی).

**ث- نتایج آزمون**

۱- ده ممان مرتبه دوم توزیع ویگنر:

عنصر کانونی‌کننده استفاده شده برای ایجاد کمر تعمیم یافته مصنوعی

طول کانونی _____

فاصله از صفحه مرجع _____

طول کانونی عدسی استوانه‌ای _____

| پارامتر | مقدار میانگین | انحراف معیار |
|---|---|---|
| $<x^2>$ | | |
| $<y^2>$ | | |
| $<xy>$ | | |
| $<\theta_x^2>$ | | |
| $<\theta_y^2>$ | | |
| $<\theta_x\ \theta_y>$ | | |
| $<x\theta_x>$ | | |
| $<y\theta_y>$ | | |
| $<x\theta_y>$ | | |
| $<y\theta_x>$ | | |

[۱]-Polarizer
[۲]-Monochromator

۲-ثوابت انتشار پرتو و پارامتر چرخش ( با توجه به بند ۸ تا ۱۰)

| پارامتر | مقدار میانگین | انحراف معیار |
|---|---|---|
| نسبت انتشار پرتو موثر $M^2_{eff}$ | | |
| آستیگماتیک ذاتی $a$ | | |
| پارامتر پیچش $t$ | | |

در صورت لزوم، می‌توان پارامترهای ویژگی‌های فیزیکی پرتو مثل پهنای پرتو و زوایای واگرایی را از ممان-های مرتبه دوم توزیع ویگنر محاسبه‌کرد و به گزارش آزمون اضافه کرد. برای معادلات بیشتر بین ممان‌های مرتبه دوم توزیع ویگنر و پارامترهای فیزیکی پرتو به استاندارد ISO/TR 11146-3 مراجعه شود.

## پیوست الف

## (اطلاعاتی)

## کتاب‌نامه

*[1] ISO/TR 11146-3, Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios — Part 3: Intrinsic and geometrical laser beam classification, propagation and details of test methods*