INSO
16064
1st. Edition
Apr.2013

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

استاندارد ملی ایران
۱۶۰۶۴
چاپ اول
فروردین ۱۳۹۲

پراکندگی نوری- اندازه‌گیری‌های پراکندگی نوری از طریق زاویه‌سنجی

Optical Scatter - Optical Scatter Measurements via Goniometry

ICS:17.180.30

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است .

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان ، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی 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 وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود .پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی 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 می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود .بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور ، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود .

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (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 of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«پراکندگی نوری- اندازه‌گیری‌های پراکندگی نوری از طریق زاویه‌سنجی»

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
احمدی، حاجی رضا (کارشناسی ارشد شیمی کاربردی)	پژوهشکده شیمی و پتروشیمی پژوهشگاه استاندارد
دبیر:	
افتخاری دافچاهی، سمیه (کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)	شرکت رویان پژوهان سینا
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اعتضاد زاده، پرناز (کارشناسی مهندسی مکانیک)	اداره کل استاندارد استان همدان
ایزدی، حسین (کارشناسی فیزیک)	اداره کل استاندارد استان همدان
پیری، احسان (کارشناسی مهندسی معدن)	شرکت کاوش خاک آریا
پیری، جمشید (کارشناسی ارشد ژئوفیزیک)	دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهار
ردائی، احسان (کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)	اداره کل استاندارد استان همدان
عندلیبی، مریم (کارشناسی شیمی)	آزمایشگاه مرجع شیمی تجزیه
هاشمی، محمد (کارشناسی فیزیک)	اداره کل استاندارد استان همدان
هاشمی، مهدی (دکتری شیمی تجزیه)	دانشگاه بوعلی سینای همدان

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران	ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد	ج
پیش‌گفتار	ه
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۲
۳ اصطلاحات و تعاریف	۳
۴ وسایل	۱۲
۵ کالیبراسیون و بهنجارسازی	۱۸
۶ روش اجرایی آزمون	۲۱
۷ محاسبات	۲۲
۸ گزارش آزمون	۲۳
پیوست الف (اطلاعاتی) مروری بر طراحی‌های نوری	۲۵
پیوست ب (اطلاعاتی) روش‌های دیگر ارایه داده‌ها	۲۷
پیوست پ (اطلاعاتی) توصیف مجموعه داده‌ها	۲۹

پیش‌گفتار

استاندارد "پراکندگی نوری- اندازه‌گیری‌های پراکندگی نوری از طریق زاویه‌سنجی" که پیش‌نویس آن درکمیسیون‌های مربوط توسط شرکت رویان پژوهان سینا تهیه و تدوین شده و در دویست و پنجمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد اندازه شناسی، اوزان و مقیاس‌ها مورخ ۱۳۹۱/۱۲/۲۰ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان 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 تجدید نظر 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:

ASTM E 2387: 2011 Standard Practice for Goniometric Optical Scatter Measurements

پراکندگی نوری- اندازه‌گیری‌های پراکندگی نوری از طریق زاویه‌سنجی

هشدار- در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی نوشته نشده است. در صورت وجود چنین مواردی، مسئولیت برقراری شرایط ایمنی و سلامتی مناسب و اجرای آن به عهده کاربر این استاندارد است.

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد تعیین روشی برای اندازه‌گیری مقدار و توزیع زاویه‌ای پراکندگی نور از یک سطح می‌باشد. این استاندارد برای اندازه‌گیری تابع توزیع پراکندگی دو سویه[1](BSDF) کاربرد دارد. BSDF روشی مناسب و پذیرفته شده‌ای برای بیان مقادیر پراکندگی نوری در بسیاری از مقاصد می‌باشد. چنان‌چه پراکندگی بازتابی مدنظر باشد، BSDF اغلب تحت عنوان تابع توزیع قابلیت بازتابش دو سویه[2] (BRDF) نامیده می‌شود یا چنان‌چه پراکندگی عبوری مدنظر باشد، تحت عنوان تابع توزیع عبور دو سویه[3] (BTDF) نامیده می‌شود.

۱-۲ BSDF یک توصیف پایه‌ای از نمود (ظاهر)[4] نمونه بوده و بسیاری از خواص دیگر (از قبیل براقیت، ماتی و رنگ) برحسب انتگرال‌های BSDF بر روی شرایط طیفی هندسی ویژه قابل بیان هستند.

۱-۳ این استاندارد همچنین راه‌های جایگزینی را برای نشان دادن نتایج پراکندگی نوری مبتنی بر زاویه، شامل ضریب قابلیت بازتاب سمتی[5]، ضریب عبور سمتی[6] و تابع پراکنش تفاضلی[7] ارایه می‌دهد.

۱-۴ این استاندارد برای اندازه‌گیری‌هایBSDF بر روی نمونه‌های تیره، نیمه شفاف یا شفاف کاربرد دارد.

۱-۵ طول موج‌هایی که این استاندارد در مورد آن‌ها به کار می‌رود شامل نواحی ماورا بنفش، مرئی و مادون قرمز می‌باشند. مشکلات در فراهم آوردن منابع، آشکارسازها و سامانه‌های نوری با پراکندگی کم مناسب، کاربرد عملی آن‌را در طول موج‌های کمتر از ۰٫۲ µm (۲۰۰ nm) پیچیده می‌کند. در طول موج‌های بزرگتر از ۱۵ µm (۱۵۰۰۰ nm) اثرات پراش اهمیت پیدا می‌کنند، که در اثر آن کاربرد عملی روش در طول موج‌های بزرگتر پیچیده می‌شود. اندازه‌گیری‌های مربوط به نمود بصری به ناحیه مرئی طول موج محدود می‌شود.

۱-۶ این روش برای موادی که فلورسانس قابل توجهی را نشان می‌دهند، کاربرد ندارد.

1- Bidirectional scattering distribution function
2- Bidirectional reflectance distribution function
3- Bidirectional transmittance distribution function
4- Appearance
5- Directional reflectance factor
6- Directional transmittance factor
7- Differential scattering function

۱-۷ این روش برای نمونه‌های صاف و منحنی شکل کاربرد دارد. با این حال فقط نمونه‌های صاف در مباحث و مثال‌ها بیان شده‌اند. تعریف یک سامانه مختصاتی مناسب برای نمونه جهت مشخص کردن موقعیت اندازه‌گیری بر روی سطح نمونه و خواص پرتوی مناسب برای نمونه‌هایی غیر صاف بر عهده‌ی کاربر می‌باشد.

۱-۸ این استاندارد، روشی برای نسبت دادن BSDF اندازه‌گیری شده به هر مکانیسم پراکندگی یا منبع را فراهم نمی‌کند.

۱-۹ این استاندارد، روشی برای برون‌یابی داده از یک طول موج، هندسه پراکندگی، موقعیت نمونه یا قطبش به طول موج، هندسه پراکندگی، موقعیت نمونه یا قطبش دیگر فراهم نمی‌کند. کاربر باید اندازه‌گیری‌ها را در طول موج‌ها، هندسه‌های پراکندگی، موقعیت‌های نمونه و قطبش‌های مناسب برای کاربرد مورد نظر انجام دهد.

۱-۱۰ ممکن است هر شاخصی در مراحل اندازه‌گیری تغییر کند. شاخص‌هایی که در طی یک مرحله‌ی اندازه‌گیری ثابت باقی می‌مانند به صورت اطلاعات اصلی در جدول داده‌ها یا در یک سند ضمیمه گزارش می‌شوند.

۱-۱۱ وسایل و روش اندازه‌گیری عمومی می‌باشند، طوری که دستگاه‌های ویژه برای استفاده در این استاندارد مستثنی می‌شوند.

۱-۱۲ توصیه می‌شود برای انجام اندازه‌گیری‌ها در صنعت نیمه رساناها کاربر، استاندارد SEMI ME ۱۳۹۲ را در نظر داشته باشد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است.
بدین ترتیب 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 آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها موردنظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ASTM, E 284 Terminology of Appearance

2-2 ASTM, E 308 Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System

2-3 ASTM, E 1331 Test Method for Reflectance Factor and Color by Spectrophotometry Using Hemispherical Geometry

2-4 ISO 13696, Optics and Optical Instruments-Test Methods for Radiation Scattered by Optical Components

2-5 Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI) Standard: ME 1392 Practice for Angle Resolved Optical Scatter Measurements on Specular and Diffuse Surfaces

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف استاندارد ASTM, E 284 اصطلاحات و تعاریف زیر نیز کاربرد دارد.

۱-۳

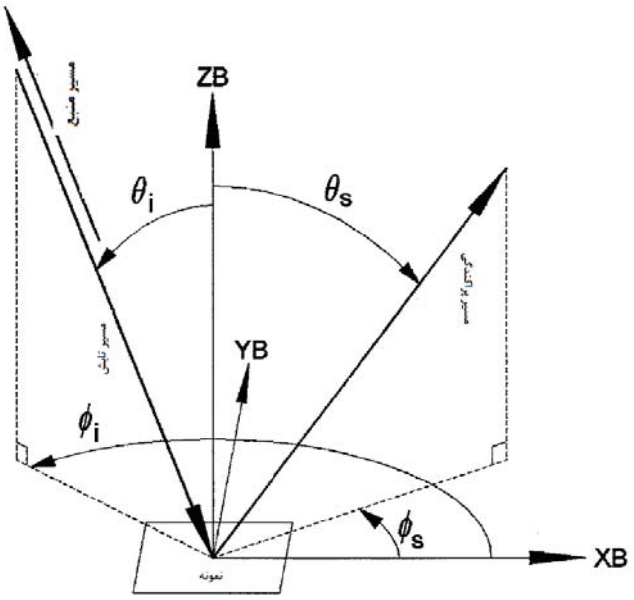
روش بهنجارسازی[1] مطلق،

روشی برای اندازه‌گیری پراکندگی که در آن قدرت تابش به صورت مستقیم با همان سامانه‌ی مورد استفاده برای اندازه‌گیری پراکندگی اندازه‌گیری می‌شود.

۲-۳

زاویه‌ی تابش[2]، θ_i،

زاویه قطبی جهت منبع، که با زاویه بین جهت منبع و سطح طبیعی (نرمال) داده می‌شود، شکل ۱ را ببینید.



شکل ۱-تبدیلات زاویه

۳-۳

زاویه بازتابش آینه‌ای (آینه‌وار)[3]، α،

زاویه‌ی بین جهت بازتابش آینه‌ای و جهت پراکندگی، علامت آن برای پراکندگی روبه عقب منفی و برای پراکندگی رو به جلو مثبت می‌باشد.

1- Normalization
2- Agle of incidence
3- Aspecular angle

برای جهات پراکندگی در صفحه‌ی تابش (با $\phi_i = ۱۸۰^\circ$ و $\phi_s = ۰$) زاویه‌ی بازتابش آینه‌ای با رابطـه‌ی ۱ داده می‌شود:

$$\alpha = \theta_i - \theta_s \qquad (۱)$$

که در آن:

θ_i زاویه‌ی تابش؛

θ_s زاویه‌ی بازتابش.

یک بیان کلی‌تر برای زاویه‌ی بازتابش آینه‌ای، معتبر برای تمام جهات تابش و پراکندگی با استفاده از رابطه‌ی ۲ داده می‌شود.

$$\alpha = \cos^{-1}\left[\cos\theta_i \cos\theta_s - \sin\theta_i \sin\theta_s \cos(\phi_s - \phi_i)\right] \qquad (۲)$$

از آن جایی که آرک‌کسینوس یک مقدار همواره مثبت است، علامت بایـد بـه طـور جداگانـه انتخـاب شـوند طوری که علامت هنگامی که جهت پراکندگی پشت جهت بازتابش آینه‌ای است مثبت و هنگامی کـه جهـت پراکندگی جلوی جهت بازتابش آینه‌ای است منفی باشد. قرارداد پذیرفته شده در این جا آن است که علامت آن در صورت برقراری رابطه‌ی ۳، مثبت است:

$$\sin\theta_s \cos(\phi_s - \phi_i) > \sin\theta_i \qquad (۳)$$

و در غیر این صورت منفی می‌باشد. در شکل ۲ نواحی زوایای بازتابش آینه‌ای مثبت و منفی نشان داده شـده است.

۴-۳

سامانه مختصات پرتو،

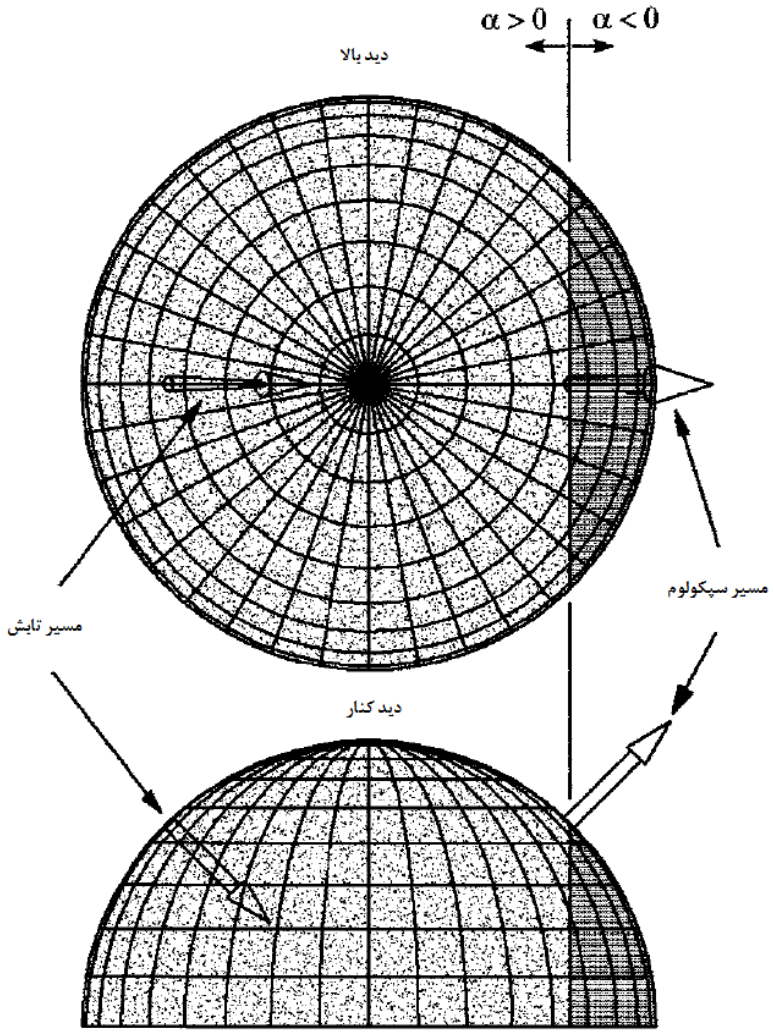
یک سامانه‌ی مختصات موازی با سامانه‌ی مختصات نمونه، که مبدا آن مرکز هندسی ناحیـه‌ی نمونـه‌بـرداری می‌باشد، مورد استفاده برای تعیین زاویه‌ی تـابش، زاویـه پراکنـدگی، زاویـه سـمتی تـابش[1] و زاویـه سـمتی پراکندگی[2].

۵-۳

تابع توزیع قابلیت بازتابش دو سویه، BRDF،

BSDF نمونه، اندازه‌گیری شده در هندسه‌ی بازتابی.

1- Incident azimuth angle
2- Scatter azimuth angle



شکل ۲- تعریف نشانه‌های زاویه بازتابش آینه‌ای

۶-۳

تابع توزیع پراکندگی دو سویه BSDF،

تابندگی نمونه (شار تابشی باز تابیده از واحد سطح منبع)[1]، L_e، تقسیم بر تابش نمونه (شار تابشی دریافت شده توسط واحد مساحت سطح)[2]، E_e، برای یک نمونه‌ی یک‌نواخت که به صورت یک‌نواختی تابش‌دهی شده است:

$$BSDF = \frac{L_e}{E_e}\left[sr^{-1}\right] \qquad (۴)$$

1- Radiance
2- Irradiance

BSDF یک تابع دیفرانسیلی است که به طول موج، جهت تابش، جهت پراکنش و حالت‌های قطبش شارهای تابیده شده و پراکنده شده وابسته است. BSDF معادل است با کسری از شار تابش که از هر واحد زاویه‌ی سه بعدی در معرض، پراکنده می‌شود.

$$BSDF = \lim_{\Omega \to 0} \frac{p_s}{p_i \Omega \cos\theta_s} \left[sr^{-1}\right] \qquad (۵)$$

BSDF یک سطح لامبرتنی[1]، از جهت پراکندگی مستقل می‌باشد. BSDF یک سطح بازتاب کننده آینه‌ای، دارای یک پیک تیز در جهت بازتابش آینه‌ای می‌باشد. اگر پراکندگی‌های سطح از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر غیر یک‌نواخت باشد، بنابراین باید از مجموعه اندازه‌گیری‌های انجام شده در کل سطح نمونه، برای به دست آوردن عدم قطعیت آماری مناسب، میانگین گرفته شود.

۷-۳

تابع توزیع عبور دو سویه، BTDF،

BSDF یک نمونه که در هندسه‌ی عبور اندازه‌گیری شده است.

۸-۳

اثر دستگاه[2] BSDF

میانگین مقدار پراکندگی آشکارسازی شده وقتی هیچ پراکندگی نمونه‌ای برای بیان کردن به صورت BSDF موجود نباشد.

اثر دستگاه BSDF با تقسیم اثر دستگاه DSF بر $\cos\theta_s$ به دست می‌آید. اثر دستگاه BSDF به زاویه‌ی پراکندگی وابسته می‌باشد. به دلیل وجود عامل $\cos\theta_s$، اگر BSDF آن از مقدار نویزکمتر نباشد، اثر دستگاه BSDF در θ_s=۹۰ به بی نهایت میل می‌کند.

۹-۳

BSDF رنگ‌سنجی

یک تابع ویژگی رنگ چند پارامتری مبتنی بر زاویه طوری مقیاس‌بندی می‌شود تا فاکتور روشنایی[3] با BSDF نورسنجی مطابق شود.

BSDF رنگ‌سنجی از سه مختصات رنگ به صورت تابعی از هندسه‌ی پراکندگی تشکیل می‌شود. یکی از مختصات رنگ به ضریب روشنایی Y مرتبط است و به طور معمول به صورت نسبت روشنایی آزمونه به مقدار مربوط به منتشر کننده کامل بیان می‌شود.

برای BSDF رنگ‌سنجی، این مختصات رنگ با BSDF نورسنجی جایگزین می‌شود. منبع نور ویژه (برای مثال، منبع نور CIE استاندارد ASTM D65)، مجموعه‌ای از توابع تطبیق رنگ (برای مثال، ناظر رنگ‌سنجی

1- Lambertian surface
2- Instrument signature
3- Luminance factor

استاندارد CIE 1931) و سامانه‌ی رنگ (برای مثال، CIELAB) باید مشخص شده و همراه با داده‌ها آورده شوند.

۱۰-۳

تابع پراکندگی دیفرانسیلی، DSF،

کسری از نور تابیده‌ی پراکنده شده به ازای هر واحد زاویه‌ی سه بعدی، که از رابطه‌ی ۶ داده می‌شود.

$$DSF = \lim_{\Omega \to \cdot} \frac{p_s}{p_i \Omega} = BSDF \cos\theta_s \qquad (۶)$$

۱۱-۳

فاکتور عبوری سمتی[1]، T_d

نسبت BTDF به مقدار مربوط به منتشر کننده‌ای عبور را به طور کامل انجام می‌دهد(به صورت $1/\pi$ تعریف می‌شود)، که با رابطه‌ی ۷ داده می‌شود.

$$T_d = \pi BTDF \qquad (۷)$$

۱۲-۳

فاکتور بازتابش سمتی[2]، R_d

نسبت BRDF به مقدار مربوط به منتشر کننده‌ی بازتابشی کامل (به صورت $1/\pi$ تعریف می‌شود)، که با رابطه ۸ داده می‌شود.

$$R_d = \pi BRDF \qquad (۸)$$

۱۳-۳

اثر دستگاه DSF،

میانگین مقدار پراکندگی آشکارسازی شده وقتی هیچ پراکندگی نمونه‌ای برای بیان کردن به صورت DSF موجود نباشد.

اثر دستگاه DSF هنگام اندازه‌گیری به وسیله‌ی دستگاه، یک DSF معادل را برای یک سطح بازتابش آینه‌ای به طور کامل بازتاب کننده فراهم می‌کند. اثر دستگاه در اثر مشارکت‌های حاصل از اندازه‌ی پرتو نور تابشی در دهانه‌ی دریافت‌کننده، پراش حاصل از آن پرتو و پراکندگی هرز حاصل از اجزاء دستگاه تشکیل می‌شود. برای سامانه‌های با حساسیت بالا (آنهایی که مقادیر NEDSF شان از $۱۰^{-۶}$ sr^{-1} کمتر است)، محدودیت بر روی اثر دستگاه، به طور معمول پراکندگی رایله[3] می‌باشد که از مولکول‌ها واقع در حجم نمونه‌بردای شده،

1- Directional transmittance factor
2- Directional reflectance factor
3- Rayleigh scatter

توسط میدان دید دریافت‌کننده، از پرتو نور تابیده ناشی می‌شود. اثر دستگاه را می‌توان با حذف نمونه و پایش دریافت‌کننده از طریق پرتو نور تابشی در یک پیکربندی عبوری اندازه‌گیری کرد. این اثر را می‌توان با پایش نمونه‌ی مرجع، طوری که پراکندگی آن به مقدار کافی کمتر از آزمونه‌ی مطالعه شده باشد، نیز اندازه‌گیری کرد، در موارد این‌چنینی اثر، با پخش کردن توسط قابلیت بازتاب نمونه‌ی مرجع تنظیم می‌شود. ضروری است هنگام گزارش داده‌های BSDF، اثر دستگاه مشخص شود، طوری که کاربر بتواند در مورد جهت پراکندگی، که در آن BSDF یا DSF نمونه‌ی اندازه‌گیری شده در اثر از بین می‌رود، تصمیم‌گیری کند. به طور ترجیحی این اثر دست کم تا چند رقم اعشار کمتر از داده‌های نمونه می‌باشد و می‌توان آن را نادیده گرفت. اثر دستگاه DSF به زاویه‌ی فضایی و میدان دید دریافت‌کننده بستگی دارد.

۱۴-۳

زاویه سمتی تابش[1]، (φ_i)

زاویه‌ی مابین محور XB تا تصویر جهت منبع در روی صفحه‌ی X-Y، هنگامی که مشخص نشده باشد، این زاویه 180° فرض می‌شود، شکل ۱ را ببینید (زاویه‌ی قطبش پراکندگی را ببینید).

۱۵-۳

جهت تابش

پرتو مرکزی شار تابشی که با θ_i و ϕ_i در سامانه‌ی مختصات پرتو مشخص شده، و از منبع تابش‌دهی تا نمونه ادامه پیدا می‌کند. جهت تابش وارون جهت منبع می‌باشد.

۱۶-۳

قدرت تابش، (p_i)

شار تابشی تابیده بر روی نمونه.

برای اندازه‌گیری‌های BSDF نسبی، قدرت تابش به صورت مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود. برای اندازه‌گیری‌های BSDF مطلق، تایید خطی بودن و در صورت لزوم تصحیح غیر خطی بودن سامانه آشکارساز در سراسر گستره ما بین مقدار قدرت تابش تا مقدار پراکندگی، که ممکن است تا ۱۳تا ۱۵ مرتبه کمتر باشد، اهمیت دارد. اگر آشکارساز یکسانی برای اندازه‌گیری قدرت تابش و پرتو پراکنده شده استفاده می‌شود، تصحیح برای پاسخ آشکارساز لازم نمی‌باشد، در غیر اینصورت، سیگنال هر آشکارساز باید با پاسخ آن تنظیم شود. در همه‌ی موارد، قدرت مطلق مورد نیاز نمی‌باشد به شرطی که واحد قدرت با واحد مورد استفاده برای اندازه‌گیری قدرت پراکنده شده P_s یکسان باشد.

۱۷-۳

BSDF معادل نویز، (NEBSDF)

ریشه دوم میانگین حسابی توان‌های دوم نوسان نویز تحت عنوان BSDF معادل بیان می‌شود.

1- Incident azimuth angle

BSDF معادل نویز با تقسیم DSF بر $\cos\theta_s$ داده می‌شود. به دلیل ضریب $\cos\theta_s$، NEBSDF به زاویه‌ی پراکندگی وابسته می‌باشد و در $\theta_s = 90^\circ$ به بی‌نهایت میل می‌کند. NEBSDF با معکوس زاویه‌ی فضایی مجموعه متناسب می‌باشد.

۱۸-۳

DSF معادل نویز، (NEDSF)

ریشه دوم میانگین حسابی توان‌های دوم نوسان نویز تحت عنوان BSDF معادل بیان می‌شود.
با در نظر گرفتن این نوسانات دقت اندازه‌گیری توسط نسبت سیگنال به نویز قابل قبول محدود می‌شود. بر خلاف NEBSDF، NEDSF می‌تواند مستقل از هندسه‌ی پراکندگی بوده و با انجام اندازه‌گیری‌های تکراری در حالت مسدود بودن پرتو منبع ارزیابی شود. NEDSF با ریشه‌ی دوم میانگین حسابی توان‌های دوم اندازه‌گیری‌های تکراری تقسیم بر قدرت تابش به دست می‌آید. NEDSF با معکوس زاویه‌ی فضایی مجموعه متناسب می‌باشد.

۱۹-۳

BSDF نورسنجی

روشنایی نمونه (شدت روشنایی تقسیم بر واحد سطح)[1] تقسیم بر شدت روشنایی نمونه (شار نوری تابیده به واحد سطح برحسب واحد لوکس)[2] برای نمونه‌های یک‌نواختی که به طور یک‌نواخت نوردهی تابش‌دهی شده‌اند.

۲۰-۳

صفحه‌ی تابش، (PLIN)

صفحه‌ی دربردارنده‌ی پرتو مرکزی و نمونه طبیعی (نرمال) حاصل از شار تابش.

۲۱-۳

روش بهنجارسازی نسبی

روشی برای انجام اندازه‌گیری پراکندگی که طی آن از نمونه‌ای با بازتابش انتشاری با BRDF معلوم به عنوان مرجع استفاده می‌شود.

۲۲-۳

دریافت‌کننده

سامانه‌ای که به طور کلی شامل روزنه‌ها، صافی‌ها، اپتیک‌های متمرکز کننده و یک آشکارساز بوده و شار پراکندگی را از سراسر یک زاویه‌ی سه بعدی معلوم جمع‌آوری و یک سیگنال اندازه‌گیری شده را فراهم می‌کند.

1- luminance
2- Illuminance

۲۳-۳

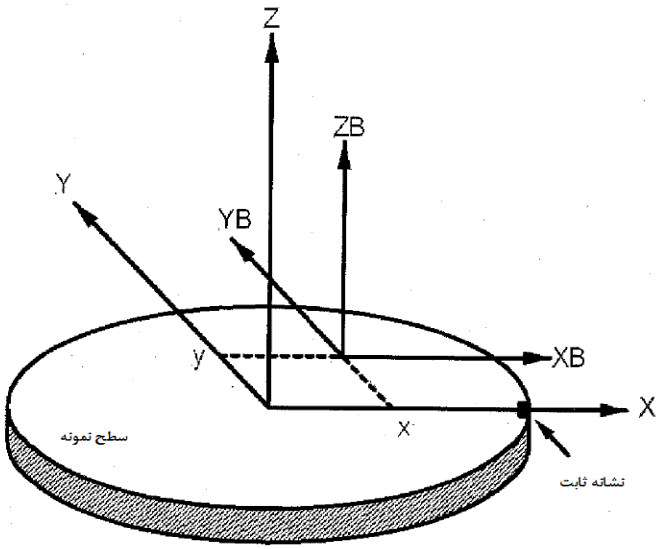
زاویه‌ی سه بعدی دریافت‌کننده، (Ω)

زاویه سه بعدی که از دهانه‌ی دریافت‌کننده تا مرکز دهانه‌ی نمونه‌برداری بسط پیدا می‌کند.

۲۴-۳

سامانه مختصات نمونه

یک سامانه مختصاتی ثابت شده به نمونه که برای تعیین موقعیت روی سطح نمونه استفاده می‌شود.
سامانه مختصات نمونه (X,Y,Z) کاربرد ویژه و نمونه ویژه می‌باشد. سامانه مختصات کارتزین نشان داده شده در شکل ۳ برای نمونه‌های مسطح پیشنهاد می‌شود. مبداء در مرکز هندسی سطح نمونه با محور Z عمود بر نمونه می‌باشد. باید یک نشان مرجع (نشانه ثابت) در پیرامون نمونه نشان داده شود؛ که باید به راحتی در امتداد محورهای X,Y قرار گیرد. اگر نشان مرجع نمونه علامت محور X نمی‌باشد، توصیه می‌شود مقدار موردنظر بر روی نمونه نشان داده شود. جهات تابش و پراکندگی در سامانه‌ی مختصات پرتو (XB, Yb, ZB) اندازه‌گیری می‌شوند. محورهای Z و ZB همواره عمود به سطح نمونه می‌باشند.



یادآوری۱- محورهای X، Y و Z، یک سامانه‌ی مختصات نمونه راست‌گرد متمرکز در مرکز هندسی سطح نمونه را تعریف می‌کنند.

یادآوری۲- نشانه ثابت (مرجع)، نشان دهنده‌ی موقعیت محور X مثبت بوده و می‌تواند روی لبه یا پشت نمونه قرار داشته باشد.

یادآوری۳- محورهای XB، YB و ZB که یک سامانه‌ی مختصات پرتو راست‌گرد را تعریف می‌کنند، به ترتیب با محورهای X، Y و Z موازی بوده و از مختصات نمونه توسط طول و عرض x و y به ترتیب در امتداد محورهای X و Y انحراف پیدا می‌کنند.

شکل ۳- ارتباط بین سامانه‌های مختصاتی نمونه و پرتو

۲۵-۳

تابش نمونه[1]، (E_e)

شار تابش تابیده شده (دریافت شده) بر روی سطح نمونه به ازای واحد سطح.

در این استاندارد E_e، میانگینی است که از حاصل تقسیم قدرت تابش، P_i، بر مساحت نوردهی شده محاسبه می‌شود. توصیه می‌شود شار تابش از یک جهت گسیل شود. با این حال درجه‌ی هم‌راستا سازی[2] قابل قبول یا مقدار همگرایی کاربرد ویژه بوده و توصیه می‌شود گزارش شود.

۲۶-۳

تابندگی نمونه[3]، (L_e)

یک مقدار دیفرانسیلی که عبارتست از شار تابشی بازتابیده به ازای زاویه‌ی سه بعدی در معرض، به ازای واحد سطح نمونه.

در این استاندارد L_e، میانگینی است که از قدرت پراکنده شده، P_s، جمع‌آوری شده به وسیله زاویه سه بعدی دریافت‌کننده‌ی در معرض، $\Omega Cos\theta_s$، از سطح تابش دهی‌شده، A محاسبه می‌شود. دهانه‌ی دریافت‌کننده و فاصله از نمونه، Ω و تفکیک زاویه‌ای دستگاه را تعیین می‌کند.

۲۷-۳

دهانه‌ی نمونه‌برداری

کوچکتر از مساحت تابش‌دهی شده بر روی نمونه یا مساحت نمونه واقع در میدان دید دریافت‌کننده.

۲۸-۳

پراکندگی

شار تابشی که در اثر برهمکنش با نمونه در گستره‌ای از زوایا تغییر جهت می‌دهد.

۲۹-۳

زاویه سمتی پراکندگی[4]، (Φ_s)

زاویه بین محور XB تا تصویر جهت پراکندگی در روی صفحه‌ی X-Y. به زاویه‌ی قطبی پراکندگی مراجعه کنید. (شکل ۱ را ببینید).

۳۰-۳

جهت پراکندگی

پرتو مرکزی زاویه‌ی سه بعدی جمع‌آوری شار پراکنده شده که با θ_s و Φ_s در سامانه‌ی مختصات پرتو مشخص می‌شود.

1- Sample irradiance
2- Collimation
3- Sample radiance
4- Scatter azimuth angle

۳۱-۳

صفحه‌ی پراکندگی

صفحه‌ی دربرگیرنده‌ی پرتوهای مرکزی شار تابشی و جهت پراکندگی.

۳۲-۳

زاویه‌ی قطبی پراکندگی،(θ_s)

زاویه‌ی قطبی بین پرتو مرکزی شار پراکنده شده و محور ZB (شکل ۱ را ببینید).

ابهاماتی در مقادیر زوایای قطبی و سمتی[1] وجود دارند که نیاز به توضیح دارند. آنچه به طور واقعی و منحصر به فرد یک جهت را تعریف می‌کند، مقادیر $Sin(\theta)cos(\Phi)$ و $Sin(\theta)sin(\Phi)$ می‌باشند، که به ترتیب مختصات X و Y تصویر جهت هستند که به عنوان بردار واحد بر روی صفحه X و Y بیان می‌شود. از آن جایی که:

$Sin(-\theta)Sin(\Phi+180^\circ)= Sin(\theta)Sin(\Phi)$ و $Sin(-\theta)cos(\Phi+180^\circ)= Sin(\theta)cos(\Phi)$،

تغییر متغیرهای $\theta \leftarrow -\theta$ و $\Phi \leftarrow \Phi +180^\circ$ جهت را تغییر نمی‌دهد. در بسیاری از اندازه‌گیری‌ها، زاویه‌گرای پراکندگی ثابت تلقی می‌شود، در حالی که زاویه‌ی قطبی پراکندگی می‌تواند منفی نیز باشد.

۳۳-۳

جهت منبع

پرتو مرکزی شار تابشی که با θ_i و ϕ_i در سامانه‌ی مختصات پرتو مشخص شده، و از نمونه تا منبع تابش‌دهی ادامه پیدا می‌کند. جهت منبع وارون جهت تابش می‌باشد.

۳۴-۳

مسیر آینه‌ای

پرتو مرکزی شار بازتابیده که با $\theta_s=\theta_i$ و $\Phi_s= \Phi_i+180^\circ$ در PLIN واقع می‌شود.

۳۵-۳

روش بهنجارسازی بازتابش آینه‌ای

روشی برای اندازه‌گیری پراکندگی، که در آن قدرت تابش توسط اندازه‌گیری نور به طور آینه‌ای بازتابیده از آینه‌ی با قابلیت بازتاب معلوم، اندازه‌گیری می‌شود.

۴ وسایل

۴-۱ دستگاه‌های طراحی شده برای اندازه‌گیری توزیع زاویه‌ای نور پراکنده شده دارای سه عنصر اصلی شامل یک منبع تابش نور، وسیله‌ای برای موقعیت‌یابی نمونه و یک دریافت‌کننده جهت جمع‌آوری و اندازه‌گیری نور پراکنده شده هستند. این اجزا به صورت کلی شرح داده می‌شوند به نحوی که هیچ نوع خاصی از دستگاه پراکندگی مستثنی نشوند. این سه جزء طوری به هم متصل می‌شوند که انتخاب یک جهت تابش و جمع‌آوری شار در جهت پراکنده شده امکان‌پذیر باشد. با این حال در همه‌ی دستگاه‌ها امکان کنترل بیش از

1- Polar and azimuthal angles

۴ زاویه ($\Phi_s, \theta_s, \Phi_i, \theta_i$) وجود ندارد. برای مثال، فقط داشتن موقعیت‌یابی (θ_s و θ_i) مرسوم است. به دلیل تنوع زیاد طراحی‌های دستگاه‌ها و امکانات آن‌ها، توصیه می‌شود پارامترهای خاص ذکر شده در زیر شناسایی و با هر نتیجه آزمون گزارش شوند.

۴-۱-۱ تابش کننده، شامل منبع و سامانه‌های نوری همراه جهت تولید تابش بر روی نمونه. اگر یک منبع پهن باند یا لیزر تنظیم‌پذیر استفاده می‌شود، توصیه می‌شود پهنای باند و تکنیک گزینش طول موج مشخص شود. اگر یک منبع پهن باند استفاده می‌شود، توصیه می‌شود توزیع قدرت طیفی گزارش شود. اگر منبع لیزری استفاده می‌شود، توصیه می‌شود نوع لیزر و طول موج مرکزی آن گزارش شود.

۴-۱-۱-۱ می‌توان از یک نمایشگر منبع جهت تصحیح نوسان در منبع استفاده کرد. توصیه می‌شود نمایشگر منبع تا جایی که عملی است برای ضبط تمام منابع احتمالی نوسان یا انحراف، بدون مشارکت بی دلیل در پراکندگی سامانه، در انتهای مسیر نوری قرار داده شود. نمایشگر منبع دارای حساسیت کافی به تغییرات در خصوصیات پرتو از قبیل شیوه فضایی و یا قطبش باشد و حساسیت باندی که موجب حصول حساسیت‌های بی مورد به طول موج می‌شود، نداشته باشد.

۴-۱-۱-۲ باید پرتو موازی یا کمی همگرا باشد. دستگاه‌های مبتنی بر لیزر، اغلب از یک پرتو همگرا با عدد f بزرگتر از f/۲۰ که به منظور حصول تفکیک زاویه‌ای بالا در جهت پراکندگی، برای اندازه‌گیری‌های نزدیک به پرتو سپکلولوم یا پیک‌های پراش، به روی دریافت‌کننده متمرکز است،استفاده می‌کنند. اگر تفکیک فضایی مهم باشد، ممکن است یک پرتو همگرا متمرکز بر روی موقعیت نمونه، استفاده شود. اگر زاویه‌ی همگرایی کوچک باشد، عدم قطعیت ایجاد شده توسط زوایای تابشی غیر یکسان، به طور معمول ناچیز می‌باشد. ممکن است برای سامانه‌هایی که به تفکیک زاویه‌ای بالا یا تفکیک موقعیت نمونه نیاز ندارند، از یک منبع موازی شده استفاده شود. اطمینان از این‌که هیچ گونه نشری در θ_i نتایج را تهدید نمی‌کند، بر عهده‌ی کاربر است. درجه‌ی همگرایی پرتو تابشی به طور کلی تاثیر مستقیمی بر روی اثر دستگاه دارد.

۴-۱-۱-۳ کاهش خوب اثر دستگاه به حفاظت دقیق اطراف تجهیزات منبع برای محدود کردن نور غیر محوری نیازمند می‌باشد. برای منابع لیزری، اغلب قبل از آخرین عنصرکانونی یا موازی کننده از یک صافی سه بعدی به عنوان آخرین عنصر نوری استفاده می‌شود. باید آینه یا عدسی نهایی که نور را به نمونه هدایت می‌کند دارای پراکندگی کمی باشد، چراکه آن در پراکندگی زاویه‌ی کوچک در اثر دستگاه، مشارکت مستقیم دارد.

۴-۱-۱-۴ باید ابزاری برای کنترل حالت قطبش شار تابشی فراهم باشد چراکه این تاثیر زیادی روی BSDF اندازه‌گیری شده دارد. اجزا قطبش با منبع متعامد (موازی یا P و عمودی یا S) توسط جهت میدان الکتریکی نسبت به PLIN تعریف می‌شوند. اگر نتایج برای نور غیر قطبیده مطلوب می‌باشد، اغلب بهترین حالت این است که دو اندازه‌گیری، با استفاده از نور قطبیده‌ی S و P، انجام و میانگین آن‌ها گزارش شود. توصیف کامل نورسنجی BSDF به ماتریس مولر نیازمند می‌باشد؛ با این حال اندازه‌گیری‌های ماتریس مولری BSDF در هدف این استاندارد قرار ندارد.

۴-۱-۱-۵ برای اندازه‌گیری‌های اجرا شده در صفحه‌ی تابش، در برخی مواقع امکان بدست آوردن نتایج معادل با نتایج حاصل با استفاده از نور تابشی با قطبش ۴۵ درجه‌ای یا نور تابشی با قطبش دایره‌ای وجود دارد. با این حال چون این تکنیک برای تمام شرایط معتبر نمی‌باشد، تعیین شرایط معتبر به عهده‌ی کاربر می‌باشد.

۴-۱-۱-۶ نمونه‌های جاذب ممکن است توسط شار تابشی حرارت داده شوند که در این صورت ممکن است موجب تغییر خصوصیات پراکندگی آن‌ها، تخریب مکانیکی آن‌ها یا سوختن نمونه آن‌ها شود. باید هنگام استفاده از منابع لیزری قدرت بالا یا منابع مادون قرمز برای نمونه‌های جاذب دقت زیادی به عمل آید.

۴-۱-۱-۷ نور منبع ممکن است به صورت الکترونیکی یا با چرخ برش‌گر مدوله شود تا امکان آشکارسازی سیگنال پراکنده شده به صورت حساس به فاز[1] فراهم شود.

۴-۱-۱-۸ شکل (نیمرخ) نقطه‌ی روشن شده در روی نمونه باید به منظور ارزیابی تفکیک سه بعدی دستگاه گزارش شود. اگر نوردهی به نمونه کم باشد، اندازه‌ی نقطه‌ی روشن شده باید کوچک‌تر از میدان دید دریافت‌کننده باشد. اگر هم تفکیک سه بعدی بالا برای کاربر لازم نمی‌باشد، اگر نقطه‌ی روشن شده خیلی کوچک باشد، بنابراین ممکن است مشخصات در داده‌ها به جای اینکه سنجشی از خواص میانگین ماده باشد، در نتیجه‌ی تغییرات و یا ناهمگونی آزمونه باشد. در مورد تابش‌دهی همسان[2] اندازه‌ی نقطه‌ی روشن شده بر روی آماره اسپکل[3] موثر می‌باشد.

۴-۱-۱-۹ برای منابع پهن باند، خصوصیات طیفی منبع بسیار مهم می‌باشد. ممکن است گزارش مقدار نوری که در داخل پهنای باند اسمی منبع قرار ندارد، لازم باشد.

۴-۱-۲ نگه‌دارنده‌ی نمونه، نگه‌دارنده‌ی نمونه باید بدون وارد ساختن هیچ گونه پیچ و تابی به نمونه، پایه‌ی نصب محکمی برای آن فراهم آورده و اجازه دهد نمونه، به طوری که نشانه‌های ثابت آن در یک جهت‌گیری خاص نسبت به هندسه‌ی پرتو باشند، قرار بگیرد. محورهای چرخش سکوهایی که موقعیت $(\theta_i, \Phi_i, \theta_s, \Phi_s)$ حاصل می‌کنند، باید نسبت به سطح جلویی نمونه باشند؛ این کار با جهت دهی نگه‌دارنده‌ی نمونه، منبع یا مجموعه‌ی دریافت‌کننده یا ترکیبی از آن‌ها قابل انجام است. برخی از پایه‌های نمونه سکوهای تثبیت موقعیت خطی را فراهم می‌آورند که انجام اندازه‌گیری‌های چند نقطه‌ای روی سطح آزمونه امکان‌پذیر می‌شود. پایه‌ی نمونه باید به صورت بدون مزاحم نگه‌داشته شود طوری که برای نور پراکنده یا تابیده مانعی ایجاد نکند، یا منجر به ایجاد شاره هرز برای اثر دستگاه شود.

۴-۱-۲-۱ از آن جایی که لازم است اندازه‌گیری‌ها نسبت به سطح جلویی آزمونه انجام شوند، اغلب ضروری است امکان تعیین موقعیت دستی(حرکت- Z) برای تطبیق با ضخامت‌های مختلف نمونه و جهت دهی نمونه (حرکت در دو جهت) نسبت به پرتو تابشی فراهم باشد. این مورد، در هنگامی که پیکربندی پرتو تابشی در

1- Phasesensitive lock-in detection
2- Coherent illumination
3- Speckle statistics

یک زاویه‌ی نزدیک به سطح است و هنگامی که تابش منبع در جهت طبیعی بازتاب نور توسط نمونه به سمت منبع می‌باشد، یک تکنیک خوب برای کنترل قرار داشتن پرتو تابشی روی مرکز نمونه است.

۴-۱-۳ مجموعه‌ی دریافت‌کننده، اگر طراحی سامانه شامل درجات آزادی در دریافت‌کننده برای دستیابی به جهت پراکندگی باشد، بنابراین به طور معمول باید پیش‌بینی لازم در مجموعه‌ی دریافت‌کننده برای چرخش حول محوری روی سطح جلویی نمونه، به منظور تغییر θ_s، صورت گرفته باشد. اگر اندازه‌گیری‌ها خارج از PLIN مورد نیاز باشد، ممکن است مجموعه‌ی دریافت‌کننده نیز به خارج از PLIN چرخانده شود. این قابلیت همچنین ممکن است با حرکت عمودی، چپ به راست و دورانی نمونه فراهم شود، اما ضبط و نسخه‌برداری از پرتو به طور آینه‌ای بازتاب شده مشکل‌تر می‌شود.

۴-۱-۳-۱ دهانه‌ی پذیرش دریافت‌کننده

(۱) دهانه پذیرش تعریف کننده‌ی یک زاویه‌ی سه بعدی، Ω، است که در محاسبات BSDF استفاده شده و تفکیک زاویه‌ای را معین می‌کند. در صورت استفاده از روش بهنجارسازی نسبی، معلوم بودن Ω می‌تواند از الزامات مستثنی شود. در آن حالت اطمینان از ثابت باقی ماندن پارامترهای سامانه بین اندازه‌گیری‌ها، بر عهده‌ی کاربر می‌باشد. برای بسیاری از سامانه‌ها که هیچگونه عنصر نوری بین نمونه و زاویه‌ی سه بعدی تعریف کننده‌ی دهانه وجود ندارد، زاویه‌ی سه بعدی دریافت‌کننده از رابطه‌ی ۹ محاسبه می‌شود.

$$\Omega \cong \frac{A_{rec}}{r^2}[sr] \qquad (۹)$$

که در آن:

A_{rec} مساحت دهانه دریافت‌کننده؛

r فاصله دهانه از ناحیه‌ی روشن شده‌ی نمونه.

تقریب در معادله ۹ تا بیش از ٪۱، هنگامی که Ω کمتر از Sr ۰/۰۴ می‌باشد، معتبر است.

(۲) برای نمونه‌های شفاف یا نیمه شفاف، ممکن است گستره‌ای از فاصله‌ها، r، بین دریافت‌کننده و پراکنده‌سازها وجود داشته باشد. بنابراین فرد باید این تغییرپذیری در عدم قطعیت Ω را به حساب آورد.

(۳) اگر دهانه‌ی پذیرش خیلی کوچک باشد و یک منبع همسان برای تابش‌دهی نمونه استفاده می‌شود، ممکن است اسپکل باعث تغییرات غیر قابل پیش‌بینی قوی در پراکندگی شود. اگر اثرات اسپکل به طور غیر قابل قبولی در نتایج مشارکت دارد، می‌توان آن‌ها را با میانگین‌گیری از تعداد زیادی از اندازه‌گیرها در موقعیت‌های نمونه‌ی مختلف، یا با جابجایی یا چرخش نمونه در هنگام انجام اندازه‌گیری، کاهش داد. اطمینان از این‌که خصوصیات BSDF ناشی از اثر اسپکل نیست، به عهده‌ی کابر است.

(۴) ممکن است کاربر بخواهد هنگام اندازه‌گیری سطوح بازتابش آینه‌ای، از یک دهانه‌ی متغییر برای کسب حساسیت برای تفکیک زاویه‌ای استفاده کند، چون بهترین تفکیک زاویه‌ای نزدیک به جهت بازتابش آینه‌ای که در آن BSDF شیب تندی دارد، لازم می‌باشد. بهترین حساسیت در زوایای بزرگتر که در آن BSDF به NEBSDF نزدیک می‌شود، لازم است.

(۵) اگر روش بهنجارسازی مطلق یا روش بهنجارسازی بازتابش آینه‌ای استفاده می‌شود، بنابراین باید دهانه‌ای بزرگتر از اندازه‌ی پرتو تابش در آن، در دسترس باشد. در غیر اینصورت مقداری از نور تابشی برای اندازه‌گیری قدرت تابش احتساب نخواهد شد.

۴-۱-۳-۲ میدان دید دریافت‌کننده

(۱) میدان دید باید دربرگیرنده‌ی کل مساحت روشن شده، A، باشد. اگر همه‌ی نورهای پراکنده شده توسط یک آزمونه به داخل زاویه‌ی سه بعدی تعریف شده توسط دریافت‌کننده آشکارسازی شوند، میدان دید دریافت‌کننده تعیین خواهد شد. اگر میدان دید از نقطه‌ی روشن شده روی آزمونه کوچکتر باشد یا اگر نسبت به مرکز نقطه‌ی تابش‌دهی شده روی نمونه تغییر یابد، بنابراین همه‌ی نور جمع‌آوری نخواهد شد و یک نتیجه‌ی نادرست به دست خواهد آمد، که برای کاربر مشهود نیست. توصیه می‌شود که میدان دید در صفحه‌ی نمونه مشخص شود.

(۲) اگر نمونه نشری یا نیمه شفاف باشد، مقداری نور از موقعیت‌های دور از نقطه‌ی تابش‌دهی شده تابیده خواهد شد. بنابراین، جهت اطمینان از به دام افتادن تمام نورهای به طور نشری پراکنده شده توسط دریافت‌کننده، میدان دید باید بزرگتر از نقطه‌ی تابش‌دهی شده باشد.

(۳) هنگامی که زاویه‌ی تابش بزرگ باشد، ناحیه‌ی تابش دهی شده باریک (کشیده) می‌شود. میدان دید باید جهت تطبیق با بزرگترین زاویه‌ی تابش مورد استفاده در طی اندازه‌گیری، به اندازه‌ی کافی بزرگ باشد.

(۴) یک روش توصیه شده برای اندازه‌گیری میدان دید دریافت‌کننده، در هنگام اندازه‌گیری سیگنال دریافت‌کننده در جهت محور Z ، قرار دادن یک منبع نوری نشری متحرک کوچک در صفحه‌ی X-Y است. این سیگنال باید در سراسر یک ناحیه‌ی بزرگتر از محل روشن شده ثابت باقی بماند، توجه داشته باشید که محل روشن شده با افزایش زاویه‌ی تابش باریک (کشیده) می‌شود. انتخاب یک سطح رواداری،T، طول‌های میدان دید،$L_{FOV,x}$ در جهات X و Y که در آن سیگنال در داخل کسری، T، از سیگنال بیشینه باقی می‌ماند، باید تعیین شود. مقادیر $L_{FOV,x}$ و $L_{FOV,y}$ باید همراه با سطح رواداری استفاده شده، ثبت شوند. به علاوه انجام اندازه‌گیری در دیگر جهات نمونه- دریافت‌کننده، به منظور تایید تمرکز دایمی میدان دید بر روی مرکز نمونه، مفید می‌باشد.

(۵) میدان دید دریافت‌کننده با طراحی دریافت‌کننده و همچنین یکنواختی عنصر آشکارساز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. انجام یک اندازه‌گیری از شکل (نیمرخ) میدان دید اطمینان می‌دهد که غیر یکنواختی آشکارساز سهمی در نتایج نداشته است.

۴-۱-۳-۳ آشکارساز دریافت‌کننده

(۱) آشکارساز دریافت‌کننده (و کل سامانه‌ی الکترونیکی همراه) باید در سراسر گستره‌ی اندازه‌گیری خطی باشد. دریافت‌کننده و پیش تقویت کننده باید با هم در سراسر گستره‌ی عملکردی مفیدشان کالیبره شوند. باید یک منحنی کالیبراسیون که نشان دهنده‌ی قدرت نوری نسبی در برابر سیگنال اندازه‌گیری شده است، برای بازده‌های مختلف پیش تقویت به دست آید. شیوه‌های عملکردی برای هر تنظیم بازده، برای اجتناب از

اشباع شدگی آشکارساز در هنگام باقی ماندن روی یک تنظیم کم بازده، انتخاب می‌شوند. توصیه می‌شود نمایش‌گر منبع نیز به همان روش کالیبره شود، اگر چه گستره‌ی دینامیکی خیلی پهن مورد نیاز نمی‌باشد.
(۲) آشکارساز دریافت‌کننده باید در سراسر ناحیه حساسیت یکسانی داشته باشد. اگر آشکارساز یک‌نواخت نمی‌باشد، یک گوی جمع‌آوری یا دیگر اپتیک‌های غیر تصویری، جهت اطمینان از یک‌نواختی حساسیت دریافت‌کننده در سراسر میدان دید قابل استفاده هستند.
(۳) اگر یک منبع پهن باند در اندازه‌گیری استفاده می‌شود، حساسیت طیفی آشکارساز ممکن است اندازه‌گیری را تحت تاثیر قرار دهد.
(۴) پاسخ موقتی آشکارساز (و سامانه‌های الکترونیکی مربوطه) باید به طور قابل توجهی سریعتر از مقیاس زمانی اندازه‌گیری باشد. اگر منبع مدوله شده است، آشکارساز باید قادر به پاسخ گویی مدولاسیون (هم‌سازی) باشد.
(۵) ممکن است استفاده از یک صافی عبور باند نوری[1] بر روی آشکارساز برای کمینه کردن پذیرش نور پس زمینه لازم باشد.

۴-۱-۳-۴ اپتیک‌های دریافت‌کننده، ممکن است اپتیک‌هایی (لنزها یا آینه‌ها) در مسیر پرتو بین نمونه و آشکارساز دریافت‌کننده وجود داشته باشند. با این حال وجود هر اپتیکی بین نمونه و دهانه‌ی پذیرش دریافت‌کننده می‌تواند اثرات سویی روی اثر دستگاه داشته باشند. به عبارت دیگر این اپتیک‌ها ممکن است اثر سویی روی صحت زاویه‌ی سه بعدی جمع‌آوری، Ω، داشته باشند. وجود اپتیک‌ها بین دهانه‌ی پذیرش و آشکارساز دریافت‌کننده اغلب برای کنترل نور و تعریف میدان دید آشکارساز مفید می‌باشند. اگر روش بهنجارسازی مطلق و یا بهنجارسازی بازتابش آینه‌ای استفاده می‌شود، همه‌ی اپتیک‌ها باید به منظور کمینه کردن تغییرات در حساسیت جمع‌آوری، در کل زاویه‌ی سه بعدی جمع‌آوری، تمیز نگه‌داشته شوند.

۴-۱-۳-۵ از آن جایی که پراکندگی ممکن است حالت قطبش نور را تغییر دهد، تعیین ویژگی کامل پراکندگی نیازمند اندازه‌گیری‌هایی با یک آنالیزگر قطبشی در دریافت‌کننده می‌باشد. از آن جایی که در بسیاری از کاربردها به تعیین دقیق ویژگی‌ها نیازی وجود ندارند، دریافت‌کننده در این قبیل سامانه‌ها باید نسبت به قطبش از حساسیت برخوردار بوده یا توانایی اندازه‌گیری دو حالت قطبش ارتوگونال را داشته باشد.

۴-۲ تنظیم صحیح مجموعه‌های منبع، نمونه و دریافت‌کننده برای اندازه‌گیری‌های BSDF دقیق ضروری می‌باشد. یک خطای ظریف که ممکن است با تنظیم نادرست ایجاد شود، هنگامی رخ می‌دهد که دریافت‌کننده حول سطح نمونه نچرخد. ناحیه تابش‌دهی شده به ناگهان از میدان دید دریافت‌کننده محو شده و سیگنال اندازه‌گیری شده کمتر از مقداری که باید باشد، می‌شود. اگر چه تنظیم هر روزه‌ی کل سامانه لازم نمی‌باشد، توصیه می‌شود برای اجزای متحرک، تنظیم به صورت روزانه انجام شود.

۴-۳ عناصر کمکی، دیگر عناصر طراحی دستگاه برای بهینه کردن دستگاه برای انواع خاصی از اندازه‌گیری‌ها مهم می‌باشند.

1- Optical bandpass filter

۴-۳-۱ کنترل نور هرز، کاهش هر گونه نور هرز در دستگاه بسیار مهم می‌باشد. برای مثال، به دام انداختن بازتاب‌های بازتابش آینه‌ای از نمونه می‌تواند به کاهش سیگنال ناشی از بازتاب‌های آزمایشگاه/وسیله شود. مثال‌هایی از پسماندهای پرتویی عبارتند از انبوه کاغذ سیاه، یک دسته تیغ صورت تراشی، صفحات شیشه‌ای جاذب یا یک لوله‌ی شیشه‌ای سیاه شده‌ی مخروطی شکل هستند. وجود یک محفظه‌ی جاذب اطراف دستگاه در برخی مواقع برای این منظور کافی می‌باشد.

۴-۳-۲ کارایی روش کاهش پرتو هرز در یک سامانه با ارزیابی کیفیت اثر دستگاه قابل تعیین است. اگر اثر دستگاه DSF بزرگتر از NEBSDF دستگاه و بزرگتر از مقدار مورد انتظار برای پراکندگی رایله در هوا باشد، بنابراین احتمال زیادی وجود دارد که نور هرز باعث آن شده است.

۴-۳-۳ کنترل آلودگی، هر گونه آلودگی و یا دیگر آسیب‌های وارده به نمونه، ممکن است منجر به افزایش مقادیر BSDF شود. برای سطوح صیقلی نوری، دستگاه باید در یک محیط تمیز مناسب قرار داشته باشد تا آزمونه‌ها در طول اندازه‌گیری و یا در حین جابجایی آزمونه آلوده نشوند. برای اندازه‌گیری‌های پراکندگی بسیار کم، فراهم کردن هوای تمیز عاری از ذره نیز برای کاهش اثر دستگاه ضروری می‌باشد. و در آخر اینکه باید مطمئن بود که هوا از بخارات شیمیایی که به ممکن است به صورت لایه‌های نازک روی نمونه‌ها رسوب کنند یا در داخل نمونه جذب شوند، عاری باشد.

۴-۴ در پیوست، برخی از طراحی‌های نوری عمومی برای مجموعه‌های منبع و دریافت‌کننده همراه با بحث در مورد محاسن و معایب آنها ارایه شده است.

۵ کالیبراسیون و بهنجارسازی

۵-۱ کلیات

کالیبراسیون دستگاه اغلب با اندازه‌گیری P_i اشتباه می‌شود. کالیبراسیون دستگاه BSDF شامل استانداردسازی سیستماتیک و تایید نتایج کمی آن است. قدرت تابش باید برای بهنجارسازی صحیح قدرت پراکنده شده اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری مطلق قدرت‌ها مشروط به آن‌که نسبت P_s/P_i به درستی اندازه‌گیری شده باشد، لازم نمی‌باشد. به‌طور جایگزین یک نمونه‌ی مرجع به عنوان مرجع بهنجارسازی قابل استفاده است.

۵-۲ کالیبراسیون

کالیبراسیون در یک اندازه‌گیری BSDF شامل تعیین صحیح قدرت تابش، قدرت پراکنده شده، زاویه‌ی سه بعدی آشکارساز و زاویه‌ی پراکندگی می‌باشد.

۵-۲-۱ اندازه‌گیری قدرت پراکنده شده و تابشی

از آن جایی که اندازه‌گیری به نسبت‌های اندازه‌گیری قدرت پراکنده شده و تابشی بستگی دارد، برای کالیبراسیون اندازه‌گیری‌های قدرت ضروریست خطی بودن سامانه‌ی آشکارسازی (آشکارساز و سامانه‌های

الکترونیکی) در سراسر گستره‌ی دینامیکی اندازه‌گیری و صفر بودن سیگنال در هنگام نتابیدن هیچ نور تابشی به آشکارساز تایید شود.

۵-۲-۲ زاویه‌ی سه بعدی آشکارساز، مقدار زاویه‌ی سه بعدی آشکارساز در صورت استفاده از روش‌های قابلیت بازتاب بازتابش آینه‌ای مطلق یا نسبی برای بهنجارسازی، مورد نیاز است. این به یک مقدار برای مساحت دهانه و برای فاصله‌ی دهانه از نقطه‌ی تابش‌دهی شده بر روی نمونه نیاز دارد.

۵-۲-۳ زاویه‌ی پراکندگی

در بیشتر موارد، کالیبراسیون زاویه‌ی پراکندگی به تنظیم درست دستگاه نیاز دارد.

۵-۲-۴ کالیبراسیون کامل سامانه به صورت روزانه مورد نیاز نمی‌باشد، اما توصیه می‌شود سامانه به صورت روزانه ارزیابی شود. این ارزیابی با اندازه‌گیری اثر دستگاه و یک نمونه‌ی مرجع پایدار که بتواند بیش از چند ده داده فراهم آورد، قابل انجام است. تغییرات از نتایج قبلی نشانه‌ای از مشکلات کالیبراسیون می‌باشد و علت این تغییرات باید مشخص شود. نگه‌داری یک نمونه‌ی مرجع در وسیله‌ی (تسهیلات) پراکندگی برای این ارزیابی کالیبراسیون، یک تکنیک عملکردی خوبی به شمار می‌رود. کالیبراسیون مجدد هنگام تغییر، تعمیر یا تنظیم مجدد اجزا، باید انجام شود. در مواردی که مجموعه‌ی داده‌ها دوباره مورد سوال قرار می‌گیرند، برای آخرین اندازه‌گیری نمونه‌ی مرجع، به صورت هر مجموعه از داده‌های BSDF به صورت یک ثبت (رکورد) از پاسخ دستگاه، یک شماره‌ی پرونده تعیین کنید.

۵-۳ بهنجارسازی

چهار روش قابل قبول برای بهنجارسازی قدرت پراکنده شده به قدرت تابشی وجود دارد. هر روش به پارامترهای اندازه‌گیری مختلف وابسته می‌باشد. اگر از صافی‌های تقلیل دهنده برای توسعه گستره‌ی دینامیکی دستگاه استفاده می‌شود، آن‌ها باید برای هر شرایط کالیبره شوند و کالیبراسیون در حضور آن‌ها انجام شود.

۵-۳-۱ مطلق

یک بهنجارسازی مطلق با حرکت مجموعه‌ی دریافت‌کننده بر روی محور نوری منبع، بدون برخورد پرتو منبع با نمونه انجام می‌شود (برای مثال، هیچ نمونه‌ای در نگه‌دارنده‌ی نمونه نباشد یا نمونه به همان طرف حرکت کند). این روش مستلزم آن است که آشکارساز دریافت‌کننده و سامانه‌ی الکترونیکی مربوط به آن خطی باشد یا در یک گستره‌ی دینامیکی بسیار عریض خطی شده باشد. تمام پرتو تابشی باید به داخل مجموعه‌ی دریافت‌کننده وارد شود و سیگنال V_i و سیگنال کنترل V_{mi} ثبت شوند. اگر پاسخ اشباع نشده آشکارساز(λ) s باشد قدرت تابش از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$p_i = \frac{V_i s(\lambda)}{V_{im}} \qquad (۱۰)$$

همانطور که بعدا دیده خواهد شد، دانستن $s(\lambda)$ برای محاسبات BSDF نمونه، به شرط ثابت باقی ماندن آن لازم نمی‌باشد.

۵-۳-۲ نسبی

بهنجارسازی نسبی با اندازه‌گیری یک نمونه مرجع با BSDF معلوم در یک هندسه خاص انجام می‌شود. این روش به دانستن BSDF نمونه‌ی مرجع در آن هندسه و در طول موج و قطبش منبع اندازه‌گیری بستگی دارد. این نمونه مرجع به طور معمول یک ماده‌ی نشری با قابلیت بازتاب بالا می‌باشد. نمونه‌ی مرجع باید از نظر فضایی همسان، با خواص فیزیکی یکسان (ایزوتروپیک) و نسبتا حساس به هندسه باشد. چنین نمونه‌هایی از یک تعداد از منابع قابل دسترس می‌باشند. نمونه‌ی مرجع در نگه‌دارنده‌ی نمونه قرار داده شده، سامانه به هندسه‌ای که BSDF آن معلوم است شکل‌دهی می‌شود ($BSDF_r$ در زاویه پراکندگی ویژه θ_{sr}) و سیگنال آشکارساز V_r و سیگنال کنترل V_{rm} ثبت می‌شوند. قدرت تابش از رابطه‌ی ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$p_i = \frac{V_r s(\lambda)}{BSDF_r V_{rm} \Omega \cos\theta_{sr}} \qquad (۱۱)$$

همانطور که بعدا دیده می‌شود معلوم بودن Ω یا $S(\lambda)$ برای محاسبات BSDF نمونه لازم نمی‌باشد به شرط آن‌که ثابت باقی بمانند.

۵-۳-۲-۱ این روش تکنیک خوبی برای ارزیابی وابسته نبودن سیگنال مرجع به موقعیت تابش‌دهی بر روی نمونه‌ی مرجع می‌باشد. تغییر در این سیگنال می‌تواند در نتیجه اثر اسپکل (در مورد تابش‌دهی همسان)، استفاده از یک نقطه‌ی روشن شده‌ی کوچک‌تر از اندازه‌ی استفاده شده برای نمونه‌ی مرجع، یا آلودگی و یا کهنگی نمونه‌ی مرجع باشد. در برخی موارد، استفاده از سیگنال میانگین به دست آمده از موقعیت‌های چندگانه بر روی نمونه‌ی مرجع کافی خواهد بود. اطمینان از این‌که تغییرات در نتیجه‌ی آلودگی نمونه یا کهنگی نمی‌باشد، بر عهده‌ی کاربر است.

۵-۳-۳ بازتابش آینه‌ای

یک بهنجارسازی نسبی جایگزین، با یک نمونه مرجع بازتابش آینه‌ای با قابلیت بازتاب بازتابش آینه‌ای معلوم، R_r، قابل انجام است. همانند روش بهنجارسازی مطلق به طور کلی این روش مستلزم سامانه‌ی دریافت‌کننده با گستره‌ی دینامیکی بسیار عریض می‌باشد. این روش برای سامانه‌هایی که نگه‌دارنده‌ی نمونه آن‌ها مات بوده و به خارج از پرتو قابل جابجایی نیست یا برای سامانه‌هایی که گستره‌ی حرکتی آن‌ها به آشکارساز اجازه‌ی مشاهده‌ی پرتو تابشی را نمی‌دهد، مفید می‌باشد. این روش همچنین برای منابعی که نمونه را اشباع می‌کنند مفید است، در این مورد اندازه مرجع باید به همان اندازه‌ی نمونه باشد.

۵-۳-۳-۱ نمونه‌ی مرجع بازتابش آینه‌ای را در نگه‌دارنده‌ی نمونه قرار دهید. مطمئن شوید که پرتو بازتابش آینه‌ای به طور کامل توسط دریافت‌کننده جمع‌آوری می‌شود (بدین منظور از یک دهانه‌ی دریافت‌کننده‌ی به اندازه کافی بزرگ استفاده کنید) و سیگنال، V_r، و سیگنال کنترل، V_{rm}، را اندازه‌گیری کنید. قدرت تابش را از رابطه‌ی ۱۲ محاسبه کنید.

$$p_i = \frac{V_r s(\lambda)}{V_{rm} R_r} \qquad (۱۲)$$

دانستن $s(\lambda)$ برای محاسبات BSDF نمونه، مشروط بر ثابت باقی ماندن آن، لازم نمی‌باشد.

۵-۳-۴ بازتاب انتشاری[1]

این روش بهنجارسازی مستلزم آن است که یک BSDF غیر بهنجار نسبی، $BSDF_{rel}$، در بیشتر جهات پراکندگی که هندسه مربوط به اندازه‌گیری عبور یا قابلیت بازتاب انتگرالی را پوشش می‌دهد، اندازه‌گیری شود. این روش آزمون مستلزم، مقادیر به طور جداگانه اندازه‌گیری شده‌ی انتگرال قابلیت بازتاب یا عبور، ρ، می‌باشد. سپس BSDF با استفاده از رابطه ۱۳ بهنجار می‌شود:

$$BSDF = \frac{\rho BSDF_{rel}}{\rho_{rel}} \qquad (۱۳)$$

که در آن، فاکتور ρ_{rel} طبق رابطه ۱۴، با انتگرال‌گیری از BSDF نسبی در کل جهات $\{\theta_s,\Phi_s\}$ محاسبه می‌شود.

$$\rho_{rel} = \iint_{\{\theta_s,\phi_s\}} BSDF_{rel} \cos\theta_s \sin\theta_s d\theta_s d\phi_s \qquad (۱۴)$$

۵-۳-۴-۱ مثال‌هایی از اندازه‌گیری‌های پراکندگی انتگرال‌گیری شده که ممکن است برای این روش استفاده شوند، عبارتند از: قابلیت بازتاب نیم‌کره‌ای سمتی مطابق با استاندارد ASTM E 1331: 2009، قابلیت بازتاب مخروطی سمتی مذکور در Nicodemus(1977) و پراکندگی کل مذکور مطابق با استاندارد ISO 13696:2002 می‌باشد.

۵-۳-۴-۲ بیشترین سودمندی این روش برای نمونه‌های مرجع در شرایطی که تابش باید نمونه را اشباع کند، از قبیل نمونه‌های کوچک و یا زوایای تابش بزرگتر می‌باشد.

۵-۳-۴-۳ اطمینان از موارد زیر بر عهده‌ی کاربر است:

- اندازه‌گیری BSDF نسبی بر روی یک شبکه‌ی به میزان کافی ظریف انجام شده است؛
- این‌که جهت‌ها تمام زاویای سه بعدی استفاده شده برای اندازه‌گیری انتگرال بازتاب را شامل می‌شود؛
- این‌که شرایط (برای مثال قطبش، طول موج و زاویه تابش) در اندازه‌گیری BSDF با شرایط اندازه‌گیری انتگرال قابلیت بازتاب یکسان است؛
- و تصحیح ژاکوبین[2] برای تبدیل مشتقات $d\theta_s\ d\Phi_s$ به مشتقات مختصات پایش مورد استفاده در اندازه‌گیری، استفاده شده است.

۶ روش اجرایی آزمون

۶-۱ تمیزی نمونه عامل مهمی در مقدار پراکندگی می‌باشد. کاربر باید قبل از اندازه‌گیری روشی را برای تمیز کردن نمونه‌ها اتخاذ کند و روش تمیز کردن باید با نتایج BSDF گزارش شود.

۶-۲ تنظیم تصحیح منبع، نمونه و دریافت‌کننده برای اندازه‌گیری‌های BSDF صحیح ضروری است. یک مثال نوعی از یک خطای ظریف که می‌تواند با تنظیم اشتباه وارد شود، هنگامی رخ می‌دهد که دریافت‌کننده

1- Diffuse Reflectance
2- Jacobian

در θ_s حول سطح نمونه نمی‌چرخد. ناحیه تابش‌دهی شده، A، به ناگهان از میدان دید دریافت‌کننده محو شده و با افزایش θ_s،BSDF اندازه‌گیری شده کمتر از BSDF واقعی خواهد شد. اگر چه اجرای تنظیم سامانه‌ی کل هر روز لازم نمی‌باشد، تنظیم باید به صورت روزانه برای اجزای متحرک بررسی شود.

ناحیه تابش‌دهی شده، A، به ناگهان از میدان دید دریافت‌کننده محو شده و BSDF اندازه‌گیری شده کمتر از مقداری که باید باشد، می‌شود. اگر چه تنظیم هر روزه‌ی کل سامانه‌ی لازم نمی‌باشد، توصیه می‌شود برای اجزای متحرک، تنظیم به صورت روزانه انجام شود.

۶-۳ قدرت تابش را با استفاده از یکی از چهار روش بهنجارسازی شرح داده شده در بالا اندازه‌گیری کنید.

۶-۴ بعد از تمیز کردن نمونه و تایید تنظیمات، نمونه را در نگه‌دارنده‌ی نمونه قرار دهید. ولتاژ آشکارساز، V_s، و ولتاژ کنترل منبع، V_{sm}، را برای هر مجموعه مورد نظر ثبت کنید. برای مثال، BSDF اندازه‌گیری شده در صفحه تابش به تغییر θ_s در حالی که سایر پارامترها ثابت نگه داشته شده‌اند، نیازمند می‌باشد. نتایج اندازه‌گیری شامل سه ستون از داده‌ها برای V_{sm}، V_s، θ_s می‌باشد. برای این مجموعه داده‌ها پارامترهای ثابت، θ_i و Φ_s، در اطلاعات سر صفحه آورده می‌شوند. پس پردازش برای محاسبه‌ی BSDF و بیان نتایج در قالب جدولی یا ترسیمی مطلوب استفاده می‌شود، اما P_s در این زمان قابل محاسبه است. در این محاسبه، نسبت ولتاژهای کنترل برای تغییر حساسیت منبع تصحیح می‌شود.

$$p_s = \frac{V_s s(\lambda)}{V_{sm}} \qquad (۱۵)$$

۶-۵ BSDF ممکن است حساسیت شدیدی به موقعیت سمتی، اندازه نقطه (روشن شده) و تغییرات موقعیت بر روی سطح نمونه نشان دهد. تکنیک عملکردی خوب، ارزیابی حساسیت برای این پارامترها و دیگر پارامترهای سیستمی را گریز ناپذیر می‌کند.

۷ محاسبات

۷-۱ BSDF یک نمونه‌ی مجهول در هر جهت تابش و پراکنش از رابطه‌ی ۱۶ محاسبه می‌شود.

$$BSDF = \frac{p_S}{p_i \Omega \cos\theta_S}\left[sr^{-1}\right] \qquad (۱۶)$$

مقدار P_i با روش بهنجارسازی استفاده شده تعیین می‌شود. ممکن است متغییرهای زاویه‌ای صحیح نیز در پس پردازش با BSDF محاسبه شود. در همه‌ی موارد θ_i و θ_s به نمونه طبیعی (نرمال) ارجاع می‌شود.

۷-۱-۱ برای روش بهنجارسازی مطلق، BSDF با رابطه ۱۷ داده می‌شود.

$$BSDF = \frac{V_{im} V_S}{V_{sm} V_i \Omega \cos\theta_S}\left[sr^{-1}\right] \qquad (۱۷)$$

۷-۱-۲ برای روش بهنجارسازی نسبی،BSDF با رابطه ۱۸ داده می‌شود.

$$BSDF = \frac{V_S V_{rm} \cos\theta_{sr}}{V_r V_{sm} V_i \cos\theta_S} BSDF_r\left[sr^{-1}\right] \qquad (۱۸)$$

۷-۱-۳ برای روش بهنجارسازی بازتابش آینه‌ای، BSDF با رابطه ۱۹ داده می‌شود.

$$BSDF = \frac{V_{rm} V_s R_r}{V_{sm} V_r \Omega \cos\theta_s} \left[sr^{-1} \right] \qquad (۱۹)$$

۷-۱-۴ برای روش بهنجارسازی قابلیت بازتاب انتگرال‌گیری شده، BSDF نسبی با رابطه ۲۰ داده می‌شود.

$$BSDF_{rel} = \frac{V_s}{V_{sm} \Omega \cos\theta_s} \qquad (۲۰)$$

سپس معادلات ۱۳ و ۱۴ برای محاسبه‌ی BSDF مطلق استفاده می‌شوند.

۷-۲ بسیاری از موارد بهتر تنها داده‌های خام را نگه‌داری شده و BSDF محاسبه و متغییرها بر اساس روش مورد استفاده به صورت ترسیمی یا جدولی نمایش داده می‌شوند. اگر داده‌ها برای استفاده در جایی دیگر مد نظر هستند، ضروری است داده‌ها به BSDF و متغییرهای زاویه‌ای تعریف شده در این استاندارد تبدیل شوند.

۸ گزارش آزمون

۸-۱ داده‌های BSDF در قالب جدول یا ترسیمی به صورت تابعی از پارامترهای متغییر بیان می‌شوند. برای داده‌هایBSDF که در چندین دهه را پوشش می‌دهند، مانند آن‌هایی که از نمونه‌های بازتابش آینه‌ای اندازه‌گیری می‌شوند، توصیه می‌شود داده‌ها به صورت نمادهای علمی بیان شوند یا در مقیاس لگاریتمی رسم شوند.

۸-۲ مقدار قابل توجهی از اطلاعات وجود دارند، که باید به اندازه‌گیری‌های BSDF ضمیمه شوند. این اطلاعات را می‌توان به عنوان موارد الزامی، پیشنهادی و اختیاری طبقه بندی کرد. هر پارامتری که در طول اندازه‌گیری تغییر می‌کند باید به طریقی، برای مثال برچسب‌گذاری ستون‌های داده مشخص شوند. اطلاعات دیگر می‌تواند در فایل داده‌های سر صفحه یا دیگر فایل‌ها یا اسناد مربوط همراه باشد. برخی از این پارمترها ممکن است مقادیر خاص باشند در حالی که برخی ممکن است عبارت یا جملات توصیفی باشند.

۸-۳ گزارش آزمون باید دارای اطلاعات زیر باشد:

۸-۳-۱ توصیف نمونه (اندازه، شکل، رنگ، پرداخت، شرایط، نشانه‌گذاری یا شناسایی و غیره)؛

۸-۳-۲ هر گونه آماده‌سازی انجام شده بر روی نمونه قبل از اندازه‌گیری؛

۸-۳-۳ زاویه‌ی تابش؛

۸-۳-۴ زاویه سمتی برخورد؛

۸-۳-۵ زاویه قطبی پراکندگی؛

۸-۳-۶ زاویه سمتی پراکندگی؛

۸-۳-۷ موقعیت اندازه‌گیری بر روی نمونه؛

۸-۳-۸ طول موج؛

۸-۳-۹ BSDF یا DSF (تعیین شده)؛

۸-۳-۱۰ قطبش تابش؛

۸-۴ توصیه می‌شود گزارش آزمون دارای اطلاعات زیر باشد:

۸-۴-۱ حساسیت قطبش دریافت‌کننده؛

۸-۴-۲ اثر دستگاه؛

۸-۴-**۳** روش بهنجارسازی؛

۸-۴-۴ شناسایی نمونه‌های مرجع؛

۸-۴-۵ NEBSDF یا NEDSF (تعیین شده)؛

۸-۴-۶ اندازه‌ی نقطه‌ی تابش و نیمرخ؛

۸-۴-۷ همگرایی تابش؛

۸-۴-۸ پهنای باند طیفی منبع؛

۸-۴-۹ عدم قطعیت همراه با اندازه‌گیری؛

۸-۴-۱۰ میدان دید دریافت‌کننده و نیمرخ؛

۸-۴-۱۱ تاریخ و زمان اندازه‌گیری؛

۸-۴-۱۲ اطلاعات آزمایشگاهی (اسم، موقعیت، شماره تماس)؛

۸-۴-۱۳ اطلاعات کاربر (اسم، موقعیت، شماره تماس)؛

۸-۴-۱۴ نام یا مدل دستگاه.

۸-۵ اطلاعات زیر به صورت اختیاری می‌تواند گزارش شوند، مگر این‌که برای کاربرد مهم بوده یا به یک پیکربندی غیر معمول متعلق باشند؛

۸-۵-۱ فشار، دما و رطوبت در اتاق یا نمونه؛

۸-۵-۲ اسناد مربوط به خطی بودن سامانه‌ی آشکارساز دریافت‌کننده.

پیوست الف
(اطلاعاتی)
مروری بر طراحی‌های نوری

الف-۱ در این بخش تعدادی از طراحی‌های عمومی برای مجموعه‌های منبع و دریافت‌کننده شرح داده شده است. همه‌ی طراحی‌ها در یک پیکربندی عبور بدون زاویه‌ی بازتابش آینه‌ای نشان داده شده‌اند. به منظور ساده سازی ترسیم‌ها تمام سامانه‌های نوری کانونی کننده و یا غیر کانیونی کننده، به صورت لنزها نشان داده شده‌اند. تمام لنزها می‌توانند با یک آینه‌ی مقعر جایگزین شوند، چون آینه‌ها رنگ‌ناپذیرتر بوده و با رواداری پراکندگی کمتری قابل تولید هستند، در بسیاری از موارد ارجح‌تر هستند.

الف-۲ شکل الف-۱ (۱) یک طراحی نوری را نشان می دهد که از یک دهانه، A، یک منبع لامپ و شکاف خروجی یک تکفام ساز یا دهانه‌ای یک صافی سه بعدی تشکیل می‌شود. پرتوهای خارج شده از دهانه A واگرا شده و با تمرکز (کانونی شدن) توسط اپتیک B به طور مجدد کنترل می‌شود. پرتوها بین اپتیک B و دهانه‌ی دریافت‌کننده‌ی C موازی یا همگرا می‌شوند. این همگرایی می‌تواند به گونه‌ای باشد که پرتو در دهانه‌ی C یا در نمونه متمرکز شود. مساحت دهانه‌ی دریافت‌کننده C و فاصله‌ی آن از نمونه، زاویه‌ی سه بعدی جمع‌آوری Ω را تعیین می‌کند. یک اپتیک کانونی کننده‌ی D تصویر نمونه را بر روی مانع میدان[1] E منعکس می‌کند. اندازه‌ی مانع میدان E، میدان دید دریافت‌کننده را تعیین می‌کند. آشکارساز F در پشت مانع میدان E قرار می‌گیرد. این طراحی نوری رایج‌ترین طراحی برای وسایلی است که از روش بهنجارسازی مطلق استفاده می‌کند، چراکه اطلاعات موردنیاز برای محاسبه‌ی Ω به راحتی با کمترین پارامترها در دسترس می‌باشد.

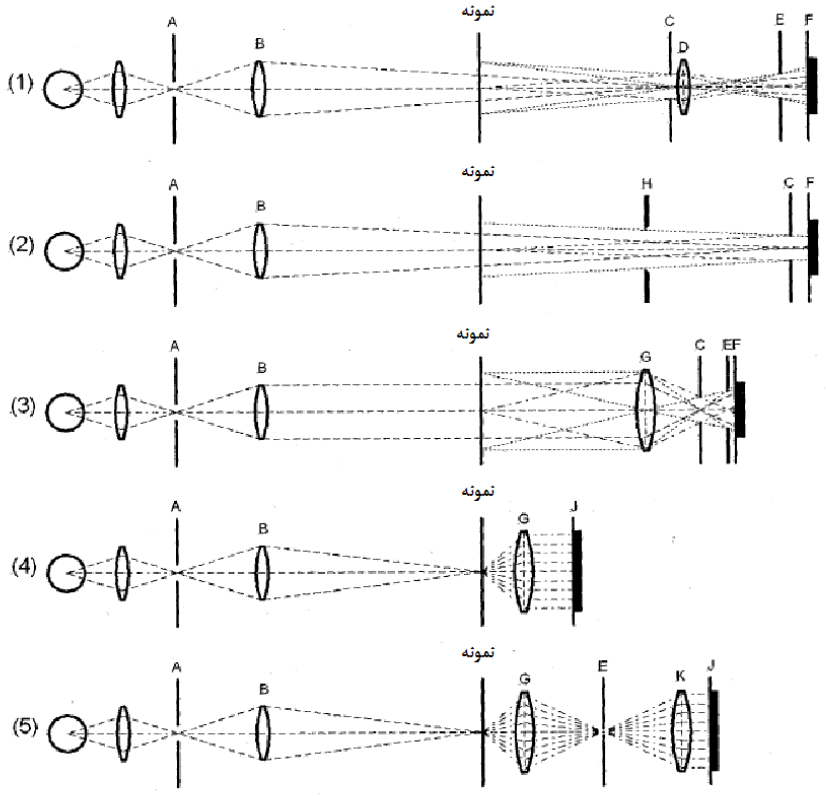
این طراحی متداولترین طراحی برای اندازه‌گیری‌های مبتنی بر لیزر نیز می‌باشد، به دلیل وجود کمترین منابع پرتو نور هرز و واگرایی کم لیزر، نیازی به اپتیک‌های اضافی جهت کنترل آن وجود ندارد.

الف-۳ شکل الف-۱ (۲) تغییراتی در طراحی نشان داده شده در شکل الف-۱ را نشان می‌دهد. اختلاف عمده در طراحی، نبود اپتیک D و دهانه‌ی E می‌باشد، که باهم میدان دید دریافت‌کننده را تعریف می‌کنند. در عوض، میدان دید با یک یا چند بافل[2] H تعریف می‌شود. آشکارساز بدون واسطه پشت زاویه‌ی سه بعدی تعیین کننده‌ی دهانه C قرار می‌گیرد. از آن جایی که هیچ اپتیکی پیش از نمونه نیست و آشکارساز F می‌تواند یک کره‌ی جمع‌آوری را برای تضمین یکنواختی وارد عمل کند، این طراحی دارای این مزیت است که اطمینان از یکنواختی کارایی آشکارسازی در کل زوایه‌ی سه بعدی، به طور نسبی به آسانی حاصل می‌شود. از معایب این سامانه میدان دید است که باید بزرگ باشد و ممکن است بافلینگ[3] (اغتشاش) موجب بروز مشکلات پرتو هرز، به ویژه هنگام استفاده از منابع لیزر برای پراکندگی زاویه‌کوچک، شود. بافلینگ در مجموع قابل حذف است، اما بزرگی میدان دید به اندازه‌ای است که نور هرز مشکل ساز باشد.

1- Field-stop
2- Baffle
3- Baffling

الف-۴ شکل الف-۱ (۳) طراحی نوری دیگری را نشان می‌دهد که دریافت‌کننده‌ی آن یک اپتیک کانونی ساز اضافی G را قبل از دهانه‌ی دریافت‌کننده‌ی C وارد عمل می‌کند. اپتیک G برای انعکاس تصویر دهانه‌ی منبع A بر روی دهانه‌ی دریافت‌کننده‌ی C، که موجب فراهم آمدن دستگاهی با تفکیک زاویه‌ای بالا برای نور تابشی خیلی موازی شده می‌شود، و برای انعکاس تصویر نمونه بر روی دهانه‌ی E، به طوری که دهانه‌ی E میدان دید دریافت‌کننده را تعریف کند، طراحی شده است. این طراحی نوری می‌تواند تفکیک زاویه‌ای به طور نسبتی بالایی برای منابع نوری گسسته دارا باشد. با این حال وجود اپتیک G بین نمونه و دهانه‌ی دریافت‌کننده‌ی C اندازه‌گیری دقیق زاویه‌ی سه بعدی Ω را مشکل می‌کند. به علاوه پراکندگی در اپتیک G می‌تواند به طور مخالف اثر دستگاه را در کاربردهای پراکندگی زاویه‌ی کوچک تحت تاثیر قرار دهد.

الف-۵ شکل الف-۱ (۴) و الف-۱(۵) طراحی‌های نوری برای سامانه‌هایی که از یک آشکارساز تصویربرداری J واقع در صفحه‌ی کانونی پشتی اپتیک جمع‌آوری G بهره می‌برند، را نشان می‌دهد. طراحی نشان داده شده در شکل الف-۱ (۴) هیچ دهانه‌ی تعریف کننده‌ی میدان دید ندارد، در حالی طراحی نشان داده شده در شکل الف-۱ (۵) دارای یک دهانه‌ی E و لنز دوم K جهت محدود کردن میدان دید است. مزیت این قبیل سامانه‌ها این است کهBSDF به سرعت قابل اندازه‌گیری است. با این حال این سامانه می‌تواند از انتشار نور هرز، عدم قطعیت‌های زاویه‌ای و عدم قطعیت‌های پرتوسنجی زیان ببینند.



شکل الف ۱- شکل نمادین طراحی‌های نوری برای اندازه‌گیری‌های BSDF

پیوست ب
(اطلاعاتی)
روش‌های دیگر ارایه داده‌ها

ب-۱ در برخی از کاربردها، ارائه تابع پراکندگی نور در یک شیوه‌ی جایگزین غیر از BSDF مفید می‌باشد. در این پیوست چندین شیوه‌ی ارائه دیگر داده شده است.

ب-۲ BSDF نورسنجی، BSDF نورسنجی میانگینی از BSDF وزن شده با یک منبع نور خاص و تابع پاسخ که با رابطه زیر داده می‌شود.

$$BSDF_{photo} = \frac{\int_{\lambda} BSDF(\lambda)S(\lambda)V(\lambda)d(\lambda)}{\int_{\lambda} S(\lambda)V(\lambda)d(\lambda)} \qquad (ب-۱)$$

که در آن :

BSDF(λ) وابستگی طیفی BSDF؛

S(λ) توزیع قدرت طیفی منبع نور؛

V(λ) ضریب روشنایی طیفی.

منبع نوری ویژه (برای مثال، منبع نوری CIE استاندارد D65) و پاسخ [برای مثال، فتوتوپیک V(λ)] باید با همراه داده‌ها مشخص شوند. در معادله‌ی ب-۱، وابستگی دو سویه‌ی BSDF، همچنین وابستگی به موقعیت به صراحت نشان داده نشده است.

ب-۳ BSDF رنگ سنجی، وابستگی زاویه‌ای رنگ یک ماده برحسب BSDF رنگ سنجی قابل بیان است. با استفاده از توابع تطبیق رنگ CIE [$\bar{x}(\lambda),\bar{y}(\lambda),\bar{z}(\lambda)$] برای یکی از ناظرهای رنگ‌سنجی استاندارد CIE و یک منبع نوری استاندارد CIE S(λ)، BSDF رنگ‌سنجی با استفاده از روابط ب-۲، ب-۳ و ب-۴ تعریف می‌شود.

$$BSDF_{color,X} = k\int_{\lambda} BSDF(\lambda)S(\lambda)\bar{x}(\lambda)d(\lambda) \qquad (ب-۲)$$

$$BSDF_{color,Y} = k\int_{\lambda} BSDF(\lambda)S(\lambda)\bar{y}(\lambda)d(\lambda) \qquad (ب-۳)$$

$$BSDF_{color,Z} = k\int_{\lambda} BSDF(\lambda)S(\lambda)\bar{z}(\lambda)d(\lambda) \qquad (ب-۴)$$

که در آن انتگرال‌گیری در تمام ناحیه‌ی طول موجی انجام می‌شود، جایی که توابع تطبیق رنگ، ۳۶۰nm تا ۸۳۰nm تعریف شده‌اند (به استاندارد بند ۲-۲ مراجعه کنید). وابستگی دو سمتی[1] BSDF همچنین وابستگی به موقعیت به صراحت داده نشده‌اند. ضریب بهنجارسازی k از رابطه ب-۵ تعریف می‌شود.

$$k = \left(\int_{\lambda} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)d\lambda\right)^{-1} \qquad (ب-۵)$$

1- Bi-directional dependence

نتایج در هر یک از مختصات رنگی مختلف، از قبیل CIELAB یا CIELUV قابل بیان هستند به شرطی که همه‌ی اطلاعات لازم برای تفسیر نتایج در برگرفته شوند و ضریب روشنایی، BSDF نورسنجی را نشان دهد. BSDF رنگ‌سنجی به ناظر و منبع نوری ویژه‌ی مورد استفاده در محاسبات، وابسته خواهد بود.

ب-۴ تابع پراکندگی دیفرانسیلی، ارائه‌ی DSF معادل با ارائه‌ی BSDF می‌باشد چراکه ارتباط مستقیمی بین این دو وجود دارد: $DSF=Cos\theta_s BSDF$. مزایای ارائه‌ی DSF این است که DSF، اثر دستگاه DSF و DSF معادل با نویز، رفتار غیر عادی برای زوایای بازبینی نزدیک به سطح را ندارد.

ب-۵ ضریب قابلیت بازتاب سمتی، ضریب قابلیت بازتاب سمتی، Rd، BRDF بهنجار شده توسط BRDF یک بازتاب کننده‌ی به طور کامل انتشاری ($BRDF=1/\pi$) بوده و با رابطه‌ی $R_d=\pi BRDF$ داده می‌شود. رنگ اغلب از ضریب قابلیت بازتاب سمتی محاسبه می‌شود (به استاندارد بند ۲-۲ مراجعه کنید).

پیوست پ

(اطلاعاتی)

توصیف مجموعه داده‌ها

پ-۱ توسعه یک استاندارد یکسان برای تمام موارد توصیف کننده‌ی مجموعه داده‌ها دشوار است چراکه کاربردهای مختلف دارای الزامات مختلفی هستند. یک مجموعه داده‌ی کامل، حتی برای یک طول موج و حتی اگر تفکیک و فواصل داده با تغییر BSDF سازگار باشند، حتی اگر شامل همه‌ی هندسه‌های تابش و پراکندگی باشد، زمان زیادی خواهد گرفت.

پ-۲ در بسیاری از موارد طرح‌های درون‌یابی برای کاربردهای خاص، بر اساس مدل‌های فیزیکی، به منظور کمک به کاهش این الزامات قابل توسعه هستند. برای مثال اگر کسی می‌داند که پراکندگی به طور کامل به دلیل سطح ناهموار در یکی از موارد محدود کننده دوتایی است، بنابراین یک اندازه‌گیری تک طول موجی ساده‌ی در صفحه، اطلاعات کافی برای پیش بینی پراکندگی در تمام هندسه‌های و طول موج‌های دیگر را حاصل می‌کند. با این حال به طور کلی نمی‌توان تنها به یک وضعیت اعتماد کرد و انجام اندازه‌گیری‌های بیش‌تر از آن ضروری می‌باشد. در کاربردهای دیگر، می‌توان نشان داد که برای نوع خاصی از نمونه برای کاربردهای کنترل کیفیت تنها تعداد کمی از هندسه‌ها کافی می‌باشند.

پ-۳ با این حال توسعه‌ی یک سامانه‌ی نام‌گذاری برای برطرف ساختن نیازهای کاربران مفید می‌باشد. اصطلاحات ذیل برای توصیف مجموعه داده‌های BSDF پیشنهاد می‌شوند.

پ-۳-۱ ساده، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF با استفاده از یک زاویه‌ی تابشی.

پ-۳-۲ ترکیب، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF که با استفاده از زوایای تابشی چندگانه انجام شده است.

پ-۳-۳ تک بعدی، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که جهت پراکندگی در امتداد تنها یک بعد (تک مختصات) پایش می‌شود.

پ-۳-۴ دو بعدی، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که جهت پراکندگی در امتداد دو بعد متفاوت (دو مختصات) پایش می‌شود.

پ-۳-۵ در صفحه، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که جهت پراکندگی به صورت تک بعدی در صفحه‌ی تابش پایش می‌شود.

پ-۳-۶ مخروطی- سمتی[1]، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که جهت پراکندگی به صورت تک بعدی به شکل یک مخروط قائم دوار در حول محور Z با θ_s ثابت و Φ_s متغیر پایش می‌شود.

پ-۳-۷ مخروطی- پراشی[2]، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که جهت پراکندگی به صورت تک بعدی به شکل یک مخروط پیرامون یک محور، در جهتی یکسان با صفحه سطحی، پایش می‌شود.
یک توری پراش که در زاویه‌ای دلخواه نسبت به یک پرتو وارده جهت دهی شده است، پیک‌های پراشی خود را به داخل یک مخروط مدور قائم، که محور آن با خط‌کشی‌ها هم تراز شده و جهت آینه‌ای را در بردارد، گسیل می‌کند. بنابراین اندازه‌گیری BSDF مخروطی- پراشی به واسطه‌ی ترتیب‌های پراشی این‌چنینی پایش خواهد شد. با استفاده از معادله توری دو بعدی، چنین پایش‌هایی را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی ب-۱ شاخص‌بندی کرد.

$$\theta_s = arcsin\left[\sqrt{(sin\alpha sin\beta - sin\theta_i cos\phi_i)^2 + (sin\alpha cos\beta - sin\theta_i sin\phi_i)^2}\right] \qquad (پ-۱)$$

$$\Phi_s = arctan[sin\alpha cos\beta - sin\theta_i sin\phi_i\,,\, sin\alpha sin\beta - sin\theta_i cos\phi_i]$$

که در آن:

α زاویه پایش؛

β ثابت معین مربوط زاویه‌ی جهت‌گیری توری.

arctan(y,x) دو نشانه‌ای، زاویه‌ی مختصات (x,y) را برمی‌گرداند.

پ-۳-۸ کروی، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که جهت پراکندگی به صورت دو بعدی در یک الگویی که تلاش می‌کند تمام کره‌ی پراکندگی را در برگیرد، هم در بازتاب و هم عبور تغییر می‌کند.

پ-۳-۹ نیم‌کروی، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که جهت پراکندگی به صورت دو بعدی در یک الگویی که تلاش می‌کند تمام نیم‌کره‌ی پراکندگی را در برگیرد، هم در بازتاب و هم عبور تغییر می‌کند.

پ-۳-۱۰ یک‌چهارم کروی، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که جهت پراکندگی به صورت دو بعدی در یک الگویی که تلاش می‌کند تمام نیم‌کره‌ی پراکندگی را در برگیرد، هم در بازتاب و هم عبور تغییر می‌کند، جایی‌که مرز مخروط سه بعدی اسمی صفحه‌ی نمونه و صفحه‌ی تابش را دربرگیرد.
برای نمونه‌هایی که انتظار می‌رود ایزوتروپیک (دارای خواص فیزیکی مشابه) باشند، ممکن است اندازه‌گیری نیم‌کروی کامل مورد نیاز نباشد. به جای آن می‌توان یک اندازه‌گیری یک‌چهارم کروی انجام داد و فرض کرد که نیم‌کره‌ی مخالف BSDF یکسانی دارد.

پ-۳-۱۱ تک طول موج، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که با استفاده از تنها یک طول موج منفرد انجام می‌شود.

1- Azimuth-conical
2- Diffractive-conical

پ-۳-۱۲ چند طول موجی، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که با استفاده از چند تا چندین طول موج مجزا انجام می‌شود. جایی‌که فاصله‌ی بین طول موج‌ها اطلاعات کافی برای درون‌یابی قابل اعتماد بین آن‌ها نمی‌دهد، یا این‌که پهنای باند طیفی هر میان‌گذر با هم هم‌پوشانی نمی‌کند.

پ-۳-۱۳ طیفی، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که با استفاده از منابع طول موجی به طور پیوسته متغیر، که هر باند طیفی با پهنای طیفی اندازه‌گیری شده مجاور هم‌پوشانی می‌کند.

پ-۳-۱۴ رنگ‌سنجی، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که در سراسر گستره‌ی ۳۶۰nm تا ۸۳۰nm با تفکیک ۲۰nm یا بهتر انجام می‌شود.

پ-۳-۱۵ نورمتری[1]، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF، که با استفاده از یک منبع پهن باند مربوط به به منبع نور استاندارد و با استفاده از یک آشکارساز دارای تابع پاسخ نورتصویری.

پ-۳-۱۶ تجزیه شده- فضایی[2]، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF که روی چندین محل به خوبی تعریف شده روی نمونه انجام می‌شود.

پ-۳-۱۷ در فضای مساوی[3]، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF که به گونه‌ای انجام می‌شود که مختصات پراکندگی در فواصل برابر تغییر می‌کند.
مختصات پراکندگی می‌تواند متشکل از زوایای θ_s و Φ_s باشد یا می‌تواند مختصات دیگری باشد که برای کاربرد، خاص‌تر است. برای مثال، برای انجام یک اندازه‌گیری تفرقی-مخروطی، مختصات پراکندگی θ_s و Φ_s نخواهد بود بلکه α یا $\sin\alpha$ خواهد بود. دیگر وضعیت احتمالی، برای اندازه‌گیری که به صورت در فواصل مساوی انجام می‌شود، به طور لگاریتمی روی زاویه‌ی اسپکولار α می‌باشد. در تمام موارد، مختصات پراکندگی باید مشخص شود.

پ-۳-۱۸ در فواصل توافقی[4]، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF که به گونه‌ای انجام می‌شود که مختصات پراکندگی طبق الگویی وابسته به حضور نظام در تابع پراکندگی، تغییر می‌کند.

پ-۳-۱۹ تفکیک زاویه‌ای کوچک[5]، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF است که با استفاده از تفکیک زاویه‌ای که بهتر از ۲ درجه نیست، انجام می‌شود.
اندازه‌گیری‌های تفکیک زاویه‌ای کوچک برای تعیین ویژگی مواد نشری که بازتاب اسپکولار قابل توجهی ندارند، یا برای تعیین ویژگی پراکندگی در جهت‌های دور از جهت اسپکولار مناسب هستند.

پ-۳-۲۰ تفکیک زاویه‌ای متوسط[6]، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF است که با استفاده از تفکیک زاویه‌ای که بهتر از ۰٫۵ درجه نیست، انجام می‌شود.

1- Photometric
2- Spatially-resolved
3- Equi-spaced
4- Adaptively-spaced
5- Low angular resolution
6- Medium angular resolution

اندازه‌گیری‌های تفکیک زاویه‌ای متوسط برای تعیین ویژگی مواد دارای بازتاب نشری با یک جزء اسپکولار قابل توجه، مناسب هستند ولی در مورد آن‌ها جزئیات جهت اسپکولار مورد نیاز نمی‌باشد.

پ-۳-۲۱ تفکیک زاویه‌ای بزرگ[1]، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF است که با استفاده از تفکیک زاویه‌ای بهتر از ۰٫۵ درجه، انجام می‌شود.

اندازه‌گیری‌های تفکیک زاویه‌ای بزرگ برای تعیین ویژگی مواد دارای بازتاب نشری مناسب هستند که در مورد آن‌ها جزئیات ناحیه‌ی اسپکولار نزدیک مورد نیاز می‌باشد.

پ-۳-۲۲ تفکیک زاویه‌ای خیلی بزرگ[2]، توصیف کننده‌ی یک اندازه‌گیری BSDF است که با استفاده از تفکیک زاویه‌ای بهتر از ۰٫۱ درجه، انجام می‌شود.

اندازه‌گیری‌های تفکیک زاویه‌ای خیلی بزرگ برای تعیین ویژگی مواد دارای بازتاب نشری مورد نیاز هستند که صحت پرتوسنجی در ناحیه‌ی اسپکولار نزدیک لازم می‌باشد. این اندازه‌گیری‌ها برای اطمینان از صفر بودن حد Ω ($\ell\Omega\to۰$)مذکور در رابطه‌ی ۵ مورد نیاز است.

1- High angular resolution
2- Very high angular resolution

پیوست ت

(اطلاعاتی)

کتاب‌نامه

(**1**) Nicodemus, F. E., “Reflectance Nomenclature and Directional Reflectance and Emissivity,” Applied Optics, 9, 1970, pp. 1474–1475.

(**2**) Nicodemus, F. E., Richmond, J. C., Hsia, J. J., Ginsberg, I. W., and Limperis, T., Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance, National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, 1977.

(**3**) Barnes, P. Y., Early, E. A., and Parr, A. C., NIST Measurement Services: Spectral Reflectance, NIST Special Publication 250-48, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 1998.

(**4**) Stover, J. C., Optical Scattering: Measurement and Analysis, 2nd Edition, SPIE Press, Bellingham, WA, 1995.