



سیستم مدیریت ایزو
www.isomanagement.ir

تماس تلفنی جهت دریافت مشاوره:

۱. مشاور دفتر تهران (آقای محسن ممیز)

☎ ۰۹۱۲ ۹۶۳ ۹۳۳۶

۲. مشاور دفتر اصفهان (سرکار خانم لیلا ممیز)

☎ ۰۹۱۳ ۳۲۲ ۸۲۵۹

مجموعه سیستم مدیریت ایزو با هدف بهبود مستمر عملکرد خود و افزایش رضایت مشتریان سعی بر آن داشته، کلیه استانداردهای ملی و بین المللی را در فضای مجازی نشر داده و اطلاع رسانی کند، که تمام مردم ایران از حقوق اولیه شهروندی خود آگاهی لازم را کسب نمایند و از طرف دیگر کلیه مراکز و کارخانه جات بتوانند به راحتی به استانداردهای مورد نیاز دسترسی داشته باشند.
این موسسه اعلام می دارد در کلیه گرایشهای سیستم های بین المللی ISO پیشگام بوده و کلیه مشاوره های ایزو به صورت رایگان و صدور گواهینامه ها تحت اعتبارات بین المللی سازمان جهانی IAF و تامین صلاحیت ایران می باشد.

هم اکنون سیستم خود را با معیارهای جهانی سازگار کنید...





جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۱۶۹۹-۳

چاپ اول

۱۳۹۷

INSO
11699-3
1st Edition
2019

Identical with
ISO 8529-3:
1998

پرتوهای نوترونی مرجع - قسمت ۳:
کالیبراسیون دُزسنج‌های فردی و
محیطی و تعیین پاسخ آن‌ها به صورت
تابعی از انرژی نوترون و زاویه فرود

**Reference neutron radiations - Part 3:
Calibration of area and personal
dosimeters and determination of their
response as a function of neutron
energy and angle of incidence**

ICS: 17.240

استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۱۶۹۹ (چاپ اول): سال ۱۳۹۷

سازمان ملی استاندارد ایران

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

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۱۰۳ و ۸۸۸۸۷۰۸۰

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

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

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

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

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

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

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

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه 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.

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

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

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

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

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

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«پرتوهای نوترونی مرجع - قسمت ۳: کالیبراسیون دُزسنج‌های فردی و محیطی و تعیین پاسخ آن‌ها به صورت تابعی از انرژی نوترون و زاویه فرود»

رئیس: سمت و/یا محل اشتغال:

مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور

رئیس:

طاهری، مهران
(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)

دبیر:

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده کاربرد پرتوها

ملکی، شهریار
(دکتری فیزیک هسته‌ای)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی

اردانه، مرتضی
(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده فیزیک و شتابگرها

اکبری، زهرا
(کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)

شرکت مهندسی و پزشکی سیناپرتوجم

برهان‌آزاد، آرش
(کارشناسی مهندسی الکترونیک)

پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی

پارسافر، ناهید
(کارشناسی ارشد فیزیک حالت جامد)

پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی

سمیع‌پور، فرهاد
(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده فیزیک و شتابگرها

شاکری جویباری، بنین
(دکتری فیزیک هسته‌ای)

شرکت پارس ایزوتوپ

شاهور، ارژنگ
(کارشناسی ارشد فیزیک حالت جامد)

پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی

عربلو، رضا
(کارشناسی فیزیک اتمی)

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای - پژوهشکده کاربرد پرتوها

عطائی‌نیا، وحیده
(کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

غلامی، سمیه

(دکتری تخصصی فیزیک پزشکی)

مختاری، حسین

(کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)

سمت و/یا محل اشتغال:

شرکت صنایع پرتوپزشکی صدرا

سازمان انرژی اتمی ایران

ویراستار:

صبور گیلوان، عباس

(کارشناسی مهندسی مکانیک)

سازمان ملی استاندارد ایران - مرکز اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌ها

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ز	پیش‌گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۸	۴ روش‌های اجرائی
۸	۴-۱ اصول کلی
۱۰	۴-۲ میدان‌های نوترونی مرجع تک انرژی و چند انرژی
۱۲	۴-۳ روش‌های اجرایی اندازه‌گیری
۱۴	۵ روش‌های اجرائی کالیبره کردن و تعیین پاسخ معادل دُز مربوط در دُزسنج‌های محیطی قابل حمل و ثابت
۱۴	۵-۱ کمیت مورد اندازه‌گیری و ضرایب تبدیل
۱۴	۵-۲ شرایط پرتودهی
۱۵	۵-۳ ارزیابی اندازه‌گیری
۱۶	۶ روش‌های اجرائی کالیبره کردن و تعیین پاسخ معادل دُز مربوط به دُزسنج‌های فردی
۱۶	۶-۱ کمیت مورد اندازه‌گیری و ضرایب تبدیل
۱۶	۶-۲ شرایط پرتودهی
۱۹	۶-۳ ارزیابی اندازه‌گیری
۱۹	۷ تعیین پاسخ معادل دُز در میدان‌های نوترونی سرگردان
۲۰	۸ ارائه نتایج
۲۰	۸-۱ سوابق و گواهی‌نامه‌ها
۲۰	۸-۲ بیان عدم قطعیت‌ها
۲۲	پیوست الف (آگاهی‌دهنده) اعلام شرایط مرجع و شرایط استاندارد آزمون مورد نیاز
۲۳	پیوست ب (آگاهی‌دهنده) فهرست علائم به کار رفته در این استاندارد
۲۵	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد «پرتوهای نوترونی مرجع - قسمت ۳: کالیبراسیون دُزنسج‌های فردی و محیطی و تعیین پاسخ آنها به صورت تابعی از انرژی نوترون و زاویه فرود» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در سیصد و هفتاد و هفتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاس‌های مورخ ۱۳۹۷/۱۱/۳۰ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

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

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

ISO 8529-3: 1998, Reference neutron radiations- Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and determination of their response as a function of neutron energy and angle of incidence

مقدمه

این استاندارد یک قسمت از مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۱۶۹۹ است که در مورد پرتوهای نوترونی مرجع، تدوین شده است.

سایر قسمت‌ها به شرح زیر است:

قسمت ۱: مشخصات و روش‌های تولید؛

- Part 2: Calibration fundamentals of radiation protection devices related to the basic quantities characterizing the radiation field

قسمت ۱، پرتوهای نوترونی مرجع در محدوده انرژی نوترون‌های گرمایی تا ۲۰ MeV و روش‌های تولید آن‌ها را مشخص می‌کند. قسمت ۲، اصول مرتبط با کمیت‌های فیزیکی تعیین‌کننده میدان پرتوی و روش‌های اجرایی کالیبراسیون در کلیه موارد را با تأکید بر دستگاه‌های اندازه‌گیری آهنگ دُز و کاربرد چشمه‌های رادیونوکلئید، توصیف می‌کند.

این استاندارد با دو قسمت دیگر خود، که در رابطه با کالیبراسیون دُزسنج‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری آهنگ دُز^۱ پرتو نوترونی است، ارتباط تنگاتنگی دارد.

این استاندارد به بررسی دُزسنج‌های مربوط به پایش فردی و محیطی می‌پردازد. دُزسنج‌های محیطی اغلب به عنوان پایشگر یا دُزسنج محیطی نامگذاری می‌شوند. همچنین دُزسنج‌های پایش فردی اغلب به عنوان دُزسنج فردی نامگذاری می‌شوند.

این استاندارد به تشریح روش‌های اجرایی کالیبراسیون و تعیین پاسخ مطابق کمیت‌های عملیاتی کمیسیون بین‌المللی یکاها و اندازه‌گیری‌های پرتوی (ICRU)^۲ می‌پردازد. این موارد در مدرک‌های ICRU Report 39، ICRU Report 43، ICRU Report 47 و ICRU Report 51 تعریف شده‌اند (به منابع [۳]، [۴]، [۵] و [۶] کتاب نامه مراجعه شود). با هدف حفاظت در برابر پرتو، این کمیت‌های عملیاتی به عنوان تخمین درستی از کمیت‌های حفاظتی در نظر گرفته می‌شوند. در راستای اهداف این استاندارد، نوترون‌ها در تمام انرژی‌ها به شدت نفوذپذیر در نظر گرفته شده و بر ارزیابی کمیت‌های عملیاتی در عمق ۱۰ mm در بدن یا فانتوم^۳ مناسب، تأکید خواهد شد. نوترون‌های سرد ممکن است مشکلات خاصی را در دُزسنجی به وجود بیاورند که مرتبط با کالیبراسیون فوتون برای دستگاه‌های اندازه‌گیری فوتون و نوترون طراحی شده‌اند، که خارج از دامنه کاربرد این استاندارد می‌باشد.

تعیین پاسخ دُزسنج‌ها اساساً دارای سه مرحله است: در مرحله اول، کمیت اصلی مانند شارش^۴ نوترون در نقطه آزمون^۵ تعیین می‌شود. در مرحله دوم، نقطه مرجع وسیله کالیبره شده به منظور تعیین پاسخ شارش

1- Dose-rate meters
2- International Commission on Radiation Units and Measurements
3- Phantom
4- Fluence
5- Point of test

در نقطه آزمون قرار می‌گیرد. در مرحله سوم، پاسخ وسیله با توجه به کمیت عملیاتی مناسب، با استفاده از ضرایب تبدیل کمیت فیزیکی (شارش) به کمیت عملیاتی (معادل دُز) تعیین می‌شود. این استاندارد روش‌ها و ضرایب تبدیل مورد استفاده در تعیین پاسخ دُزسنج‌های محیطی و فردی بر حسب کمیت‌های عملیاتی مورد نظر از ICRU را برای نوترون‌ها توصیف می‌کند.

پرتوهای نوترونی مرجع - قسمت ۳: کالیبراسیون دُزنسج‌های فردی و محیطی و تعیین پاسخ آنها به صورت تابعی از انرژی نوترون و زاویه فرود

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه راهنمایی‌ها برای افرادی است که دُزنسج‌های سطح حفاظتی و دستگاه‌های اندازه‌گیری آهنگ دُز را برای پایش فردی و محیطی با پرتوهای نوترونی مرجع، کالیبره می‌کنند. این راهنمایی‌ها، شامل تعیین پاسخ به صورت تابعی از انرژی نوترون و زاویه فرودی است. کمیت‌های عملیاتی توصیه‌شده در مدرک [4] ICRU Report 43، در تطابق با مدرک [5] ICRU Report 47 در نظر گرفته شده است. این استاندارد علاوه بر توصیف روش‌های اجرایی، شامل تعاریف مناسب و ضرایب تبدیل نیز می‌باشد و راهنمایی‌هایی را برای بیان عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری و تهیه سوابق و گواهی‌نامه‌های کالیبراسیون ارائه می‌دهد.

یادآوری - مشخصات پرتوهای نوترونی مرجع، روش‌های تولید و کاربرد آنها، در استانداردهای ISO 8529-1 و ISO 8529-2 تشریح شده است.

۲ مراجع الزامی

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

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

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 8529-1, Reference neutron radiations – Part 1: Characteristics and methods of production.

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۶۹۹: سال ۱۳۸۷، تابش‌های نوترونی مرجع - قسمت ۱: مشخصات و روش‌های تولید، با استفاده از استاندارد ISO 8529-1: 2001 تدوین شده است.

2-2 ISO 8529-2, Reference neutron radiations – Part 2: Calibration fundamentals of radiation protection devices related to the basic quantities characterizing the radiation field.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۳ کمیت‌ها و یکاها

۱-۱-۳

معادل دُز

H

dose equivalent

H

حاصل ضرب Q و D در نقطه‌ای درون بافت که طبق فرمول (۱) محاسبه می‌شود:

$$H = Q \cdot D \quad (1)$$

که در آن:

D دُز جذب‌شده در آن نقطه؛

Q عامل کیفیت است.

[منبع: [6] ICRU Report 51: 1993]

یادآوری- یکای معادل دُز، ژول بر کیلوگرم ($J \cdot kg^{-1}$) با نام ویژه سیورت (Sv) است.

۲-۱-۳

معادل دُز محیطی

$H^*(10)$

ambient dose equivalent

$H^*(10)$

معادل دُز در نقطه‌ای در میدان پرتوی که توسط میدانی گسترش‌یافته و همسو در کُره ICRU در عمق ۱۰ mm در شعاعی خلاف جهت میدان همسو ایجاد شده است.

یادآوری ۱- یکای معادل دُز محیطی، ژول بر کیلوگرم ($J \cdot kg^{-1}$) با نام ویژه سیورت (Sv) است.

یادآوری ۲- در میدان گسترش یافته و همسو، شارش و توزیع انرژی در سراسر حجم مورد نظر دارای مقدار یکسانی همانند نقطه آزمون^۱ در میدان واقعی است؛ میدان تک جهتی می باشد.

۳-۱-۳

معادل دُز فردی

$H_p(10)$

personal dose equivalent

$H_p(10)$

معادل دُز در بافت نرم (به مدرک [6] ICRU Report 51: 1993 مراجعه شود) در عمق ۱۰ mm زیر نقطه ای مشخص از بدن.

یادآوری ۱- یکای معادل دُز فردی ژول بر کیلوگرم ($J \cdot kg^{-1}$) با نام ویژه سیورت (Sv) است.

یادآوری ۲- در گزارش [5] ICRU 47، تعریف معادل دُز فردی را به منظور در برگرفتن معادل دُز در عمق d در فانتومی که متشکل از بافت ICRU بوده، در نظر گرفته است. لذا $H_p(10)$ برای کالیبراسیون دُزسنج های فردی عبارت است از معادل دُز در عمق ۱۰ mm در فانتومی متشکل از بافت ICRU (به زیربند ۶-۱ مراجعه شود)، اما در فانتومی با اندازه و شکلی که برای کالیبراسیون به کار می رود (به زیربند ۶-۲-۲ مراجعه شود).

۲-۳ تعیین عامل و پاسخ کالیبراسیون

۱-۲-۳

کمّیت تأثیرگذار

influence quantity

کمّیتی که ممکن است بر نتیجه یک اندازه گیری تأثیر بگذارد، بدون آن که موضوع اندازه گیری باشد.

یادآوری- فهرستی از کمّیت های تأثیرگذار در پیوست الف، ارائه شده است.

۲-۲-۳

شرایط مرجع

reference conditions

نشان دهنده مجموعه ای از مقادیر کمّیت تأثیرگذار بوده که در آن عامل کالیبراسیون بدون در نظر گرفتن هیچ گونه تصحیحی معتبر است (به یادآوری زیربند ۳-۲-۳ مراجعه شود).

یادآوری- مقدار کمّیت مورد اندازه گیری می تواند آزادانه مطابق با مشخصات دستگاه مورد نظر جهت کالیبراسیون انتخاب شود. کمّیت مورد اندازه گیری یک کمّیت تأثیرگذار (مطابق با زیربند ۳-۲-۱ مراجعه شود) نیست.

۳-۲-۳

شرایط استاندارد آزمون

standard test conditions

بیانگر گستره‌ای از مقادیر مجموعه‌ای از کمیت‌های تأثیرگذار که تحت آن کالیبراسیون یا تعیین پاسخ انجام می‌شود.

یادآوری- به طور ایده‌آل، کالیبراسیون‌ها بهتر است تحت شرایط مرجع انجام شوند. از آن جا که این موضوع همیشه قابل دستیابی یا راحت نیست، یک بازه (کوچک) حول مقادیر مرجع می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اصولاً توصیه می‌شود انحرافات عامل کالیبراسیون از مقدار آن تحت شرایط مرجع، تصحیح شود. در عمل، عدم قطعیت مورد نظر به عنوان یک معیار عمل می‌کند: این که آیا کمیت تأثیرگذار باید از طریق یک تصحیح صریح در نظر گرفته شود یا این که اثر آن ممکن است در عدم قطعیت وارد شود. در حین آزمون‌های نوعی، کلیه مقادیر مربوط به کمیت‌های تأثیرگذار که موضوع آزمون نیستند، در بازه شرایط استاندارد آزمون ثابت می‌مانند. شرایط استاندارد آزمون به همراه شرایط مرجع قابل اجرا در این استاندارد، در پیوست الف ارائه شده است.

۴-۲-۳

شرایط کالیبراسیون

calibration conditions

شرایطی که عملاً در گستره شرایط استاندارد آزمون در حین کالیبراسیون غالب هستند.

۵-۲-۳

نقطه آزمون

point of test

نقطه‌ای در میدان پرتوی که در آن مقدار واقعی قراردادی یک کمیت (مطابق با زیربند ۳-۲-۹) مورد اندازه‌گیری، معلوم است.

۶-۲-۳

نقطه مرجع

reference point

نقطه‌ای از یک دُزسنج که در محل نقطه آزمون با اهداف کالیبراسیون یا آزمون قرار گرفته است.

یادآوری- فاصله اندازه‌گیری، به فاصله بین محور تقارن چشمه پرتوی و نقطه مرجع دُزسنج اشاره می‌کند. برای توضیحات بیشتر، به زیربند ۴-۱-۵ مراجعه کنید.

۷-۲-۳

جهت مرجع

reference direction

جهتی در دستگاه مختصات دُزسنج، که زاویه پرتو فرودی در میدان‌های تک‌جهتی نسبت به آن اندازه‌گیری می‌شود.

۸-۲-۳

راستای مرجع

reference orientation

سمت‌گیری یک دُزسنج به نحوی که جهت پرتو فرودی با جهت مرجع دُزسنج منطبق باشد.

۹-۲-۳

مقدار واقعی قراردادی یک کمیت

conventional true value of a quantity

بهترین تخمین از مقدار کمیت مورد اندازه‌گیری که از طریق یک استاندارد اولیه یا ثانویه یا توسط یک دستگاه مرجع که به وسیله یک استاندارد اولیه یا ثانویه کالیبره شده، تعیین می‌شود. یادآوری- به‌طور کلی یک مقدار واقعی قراردادی به اندازه کافی نزدیک به مقدار واقعی در نظر گرفته می‌شود، در مواردی که اختلاف با توجه به دلیل ذکر شده ناچیز باشد.

۱۰-۲-۳

پاسخ

R

response

R

نسبت خوانش M یک دستگاه اندازه‌گیری به مقدار واقعی قراردادی کمیت اندازه‌گیری شده است. یادآوری ۱- توصیه می‌شود نوع پاسخ مشخص شود، برای مثال «پاسخ شارش» (پاسخ با توجه به شارش Φ) که طبق فرمول (۲) محاسبه می‌شود:

$$R_{\Phi} = \frac{M}{\Phi} \quad (2)$$

یا «پاسخ معادل دُز» (پاسخ با توجه به معادل دُز H) طبق فرمول (۳) محاسبه می‌شود:

$$R_H = \frac{M}{H} \quad (۳)$$

یادآوری ۲- مقدار پاسخ ممکن است با بزرگی کمیت مورد اندازه‌گیری متفاوت باشد. در چنین مواردی گفته می‌شود که دستگاه، غیرخطی است.

یادآوری ۳- پاسخ R (با توجه به شارش یا معادل دُز) معمولاً با انرژی و توزیع جهتی نوترون‌های فرودی فرق می‌کند. بنابراین، بهتر است پاسخ $R(E, \vec{Q})$ را به صورت تابعی از انرژی E نوترون‌های فرودی تک انرژی و جهت \vec{Q} نوترون‌های فرودی تک جهتی در نظر بگیریم. $R(E)$ وابستگی انرژی و $R(\vec{Q})$ وابستگی زاویه‌ای پاسخ را توصیف می‌کنند؛ برای مورد آخر، \vec{Q} می‌تواند توسط زاویه α بین راستای مرجع وسیله و جهت میدان تک‌جهتی خارجی بیان شود.

یادآوری ۴- در صورتی که دُزسنج تحت پرتوهای مجموعه‌ای از پرتوها با انرژی و زوایای مختلف قرار گرفته باشد، ممکن است برخی از الگوریتم‌های ارزیابی آشکارسازهای چند المانی جمع‌پذیر نباشند. به عنوان مثال، اگر دو مورد این چنینی شامل معادل دُز H_1 و H_2 وجود داشته باشد، ممکن است مجموع دو خوانش مرتبط به آن‌ها از خوانش ناشی از یک پرتوهای مجزای $H_1 + H_2$ متفاوت باشد، یعنی $M_{H_1} + M_{H_2} \neq M_{H_1+H_2}$. در چنین مواردی، تابع $R(E, \vec{Q})$ که در بخش یادآوری قبلی بررسی گردید، برای توصیف دُزسنج در همه میدان‌های پرتوی کافی نیست.

۱۱-۲-۳

کالیبراسیون

calibration

تعیین کمی، تحت مجموعه‌ای از شرایط استاندارد آزمون تحت کنترل، مربوط به خوانش ناشی از دُزسنج به صورت تابعی از مقدار کمیت مورد اندازه‌گیری است.

یادآوری- به‌طور معمول، شرایط کالیبراسیون مجموعه‌ای کامل از شرایط استاندارد آزمون است (به پیوست الف مراجعه شود). یک کالیبراسیون متداول می‌تواند تحت شرایط ساده‌ای انجام شود، این کار می‌تواند با بررسی این که آیا کالیبراسیون توسط سازنده انجام شده است یا عامل کالیبراسیون در حین استفاده طولانی مدت از یک دُزسنج به اندازه کافی پایدار است یا خیر، انجام شود. به‌طور کلی، روش‌های کالیبراسیون متداول بر اساس نتایج یک آزمون نوعی انجام می‌شود یا ممکن است از اهداف یک آزمون نوعی باشد، این کار به‌منظور ایجاد روش‌های اجرائی کالیبراسیون متداول انجام می‌شود، به نحوی که نتیجه آن تا حد ممکن به نتیجه کالیبراسیون در شرایط استاندارد آزمون، نزدیک باشد.

۱۲-۲-۳

عامل کالیبراسیون

N

calibration factor

N

مقدار واقعی قراردادی کمیتی که قصد اندازه‌گیری آن توسط دستگاهی وجود داشته باشد، تقسیم بر خوانش آن دستگاه، M (تصحیح شده در صورت لزوم) است.

مثال:

عامل کالیبراسیون یک دُزسنج با در نظر گرفتن معادل دُز فردی طبق فرمول (۴) محاسبه می‌شود:

$$N = \frac{H_p(10)}{M} \quad (۴)$$

یادآوری ۱- وقتی که دستگاه کمیت مورد اندازه‌گیری را نشان می‌دهد، عامل کالیبراسیون N بدون بُعد است. دُزسنجی که مقدار واقعی قراردادی را به طور صحیح نشان می‌دهد دارای عامل کالیبراسیون برابر با ۱ است.

یادآوری ۲- عکس عامل کالیبراسیون یک دُزسنج برابر با پاسخ تحت شرایط مرجع است. برخلاف عامل کالیبراسیون که تنها به شرایط مرجع اشاره دارد، پاسخ به هر شرایط متداولی بستگی دارد.

یادآوری ۳- مقدار عامل کالیبراسیون ممکن است با اندازه کمیت مورد اندازه‌گیری متفاوت باشد. در چنین مواردی، گفته می‌شود که دُزسنج دارای پاسخی غیرخطی است.

۱۳-۲-۳

بهنجارسازی

normalization

روش اجرائی که در آن به منظور حصول یک تخمین بهتر از کمیت مورد اندازه‌گیری، در گستره معینی از کمیت‌های تأثیرگذار، عامل کالیبراسیون در عاملی ضرب می‌شود.

یادآوری- بهنجارسازی زمانی می‌تواند عملیاتی شود که دُزسنج به طور عمدتاً تحت شرایط متفاوتی نسبت به شرایط مرجع استفاده شود. در این مورد، بهنجارسازی اختلاف‌های موجود در پاسخ تحت شرایط مرجع و در شرایط عملیاتی عادی را در نظر می‌گیرد.

۳-۳

ضریب تبدیل شارش نوترون به معادل دُز

h_Φ

neutron fluence-to-dose equivalent conversion coefficient

h_Φ

خارج قسمت تقسیم معادل دُز H بر شارش Φ در نقطه‌ای واقع در میدان پرتوی است.

$$h_\Phi = \frac{H}{\Phi} \quad (۵)$$

یادآوری- هر عبارتی از ضریب تبدیل شارش به معادل دُز مستلزم عبارت یا بیانی از نوع معادل دُز مانند معادل دُز فردی یا محیطی است. ضرایب تبدیل $h_\Phi^*(10)$ برای معادل دُز محیطی و $h_{p\Phi}(10)$ برای معادل دُز فردی هر دو به شدت با انرژی نوترون تغییر می‌کنند. در مورد $h_{p\Phi}(10)$ ، متغیر دیگری وجود دارد که به جهت پرتو فرودی بستگی دارد. لذا، مفید است که ضریب تبدیل را به صورت تابع $h_\Phi(E)$ با انرژی E نوترون‌های تک‌انرژی در چندین زاویه فرودی در نظر گرفته شود. این مجموعه از داده‌های اصلی اغلب تابع تبدیل نامیده می‌شود.

۴ روش‌های اجرایی

۱-۴ اصول کلی

۱-۱-۴ میدان‌های نوترونی

این استاندارد میدان‌های نوترونی (پرتوهای نوترونی مرجع) را مورد بررسی قرار می‌دهد که در تطابق با استاندارد ISO 8529-1 انتخاب و تولید شده است و با استفاده از تکنیک‌های استاندارد ISO 8529-2 مشخصه‌یابی شده است. به طور کلی، هنگام انتخاب یک میدان نوترونی مناسب، در نظر گرفتن انرژی مشخص و گستره‌های دُز یا آهنگ دُز در دُزسنج مورد آزمون مفید خواهد بود. توصیه می‌شود کمیت‌های اصلی مشخص‌کننده میدان‌های پرتوی (انرژی و توزیع زاویه‌ای شارش نوترونی) تعیین شوند و توصیه می‌شود تمامی تصحیحات لازم برای استفاده از ضرایب تبدیل مطابق با استاندارد ISO 8529-2 در نظر گرفته شود. ضرایب تبدیل ارائه شده در این استاندارد به انرژی‌های نامی یا طیف‌های مرجع مندرج در استاندارد ISO 8529-1 اشاره دارد؛ توصیه می‌شود انحرافات تجربی با توجه به توزیع طیفی در نظر گرفته شوند (به زیربند ۴-۲-۳ مراجعه شود).

۲-۱-۴ ضرایب تبدیل

تمام ضرایب تبدیل ارائه شده در جداول ۱ تا ۴ به باریکه‌های نوترونی موازی پهن یا میدان‌های متشکل از چنین باریکه‌هایی مربوط می‌باشند. توصیه می‌شود میدان‌های نوترونی به کار گرفته شده برای اهداف کالیبراسیون و آزمون، به اندازه کافی پهن در نظر گرفته شوند، یعنی در گستره‌ای باشند که کل وسیله تحت کالیبراسیون را در بر بگیرند (دُزسنج محیطی یا فانتومی با دُزسنج فردی) و موازی یا متشکل از پرتوهای موازی باشند. برای کالیبراسیون وسیله‌های حجیم در باریکه‌های واگرا، همان‌طور که جزئیات آن در استاندارد ISO 8529-2 تشریح شده است، به منظور تصحیح پرتودهی ناهمگن وسیله در فواصل نزدیک به چشمه‌های نقطه‌ای، تصحیحات هندسی لحاظ می‌شود.

شارشی که ضرایب تبدیل به آن اشاره می‌کند توصیه می‌شود در نقطه آزمون اندازه‌گیری شود؛ سپس فرض می‌شود که شارش در تمام سطح مقابل دُزسنج یا فانتوم همگن بوده و ضریب تبدیل شارش به معادل دُز را می‌توان بدون ملاحظات اضافی به کار گرفت.

۳-۱-۴ شرایط استاندارد آزمون

کالیبراسیون‌ها و تعیین پاسخ باید تحت شرایط استاندارد آزمون انجام شوند. گستره مقادیر کمیت‌های تأثیرگذار مربوط به شرایط استاندارد آزمون در پیوست الف ارائه شده است.

۴-۱-۴ تغییر کمیت‌های تأثیرگذار

برای اندازه‌گیری‌هایی که به منظور تعیین اثرات تغییر در یک کمیت تأثیرگذار بر پاسخ در نظر گرفته شده، باید سایر کمیت‌های تأثیرگذار تحت شرایط استاندارد آزمون، ثابت نگه داشته شوند مگر این‌که به شکل دیگری مشخص شده باشند.

۵-۱-۴ نقطه آزمون و نقطه مرجع

اندازه‌گیری‌ها باید با قرار دادن نقطه مرجع دُزسنج در نقطه آزمون انجام شوند. نقطه مرجع و جهت مرجع دُزسنج مورد آزمایش باید توسط کارخانه سازنده اعلام شود. نقطه مرجع باید در خارج از دُزسنج علامت‌گذاری شود. اگر این کار غیرممکن باشد، نقطه مرجع در اسناد همراه با دستگاه باید مشخص شده باشد. تمام فواصل بین منبع پرتوی و دُزسنج به صورت فاصله عمودی بین محور تقارن منبع پرتوی و نقطه مرجع دُزسنج باید در نظر گرفته شوند.

در صورت عدم کسب اطلاعات در مورد نقطه مرجع یا جهت مرجع دُزسنج مورد آزمایش، این پارامترها باید توسط آزمایشگاه مشخص و ثابت نگه‌داشته شده و باید در گواهی‌نامه آزمون اعلام شوند. در اکثر کاربردها، نقطه مرجع دُزسنج دقیقاً با حجم حساس دُزسنج مرتبط خواهد بود. دُزسنج‌های فردی باید روی وجه جلویی فانتوم ثابت شوند به گونه‌ای که جهت مرجع آن‌ها با بُردار عمود بر وجه جلویی هم محور باشند.

یادآوری ۱- برای دُزسنج‌های فردی که به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به پرتوهای پس‌پراکنده از فانتوم حساس هستند (به ویژه دُزسنج آلبدو^۱)، توصیه می‌شود که نقطه مرجع روی سطح پشتی دُزسنج قرار گیرد به نحوی که با نقطه واقع در سطح جلویی فانتوم که در آن دُزسنج ثابت شده هم محور باشد. هنگامی که چندین عدد از چنین دُزسنج‌های فردی به طور همزمان بر روی سطح فانتوم پرتودهی شوند، ممکن است به دلیل ایجاد تغییراتی در سطح فانتوم از جمله تغییر مربوط به بزرگی و توزیع‌های انرژی و زاویه میدان پس‌پراکنده، به اعمال تصحیحاتی نیاز باشد که اثر این تغییرات وابسته به دُزسنج است. به علاوه، ممکن است ملاحظاتی در مورد اغتشاش میدان پرتوی فرودی بر فانتوم توسط آرایه دُزسنج‌ها نیاز باشد (به زیربند ۳-۲-۶ مراجعه شود).

یادآوری ۲- در مورد منابع نقطه‌ای (و در غیاب پرتو پراکنده شده) جایی که در آن آهنگ دُز با معکوس مربع فاصله l تغییر می‌کند، جابه‌جایی Δl در نقطه مرجع دُزسنج تحت پرتو در جهت باریکه اصلی به خطای نسبی $(\Delta l/l)^2$ در عامل کالیبراسیون در فاصله l منجر می‌شود. هم‌راستا نبودن با خط عمود بر محور باریکه، Δd ، منجر به خطای نسبی $(\Delta d/l)^2$ می‌شود. اگر چندین دُزسنج فردی به طور همزمان بر روی سطح فانتوم پرتودهی شوند، باید در فواصل یکسانی نسبت به منبع پرتوی تا نقطه آزمون ثابت شوند در غیر این صورت باید تصحیحاتی به منظور در نظر گرفتن اختلافات موجود در فاصله در نظر گرفته شود.

۶-۱-۴ محورهای دوران

به منظور بررسی اثر جهت پرتو فرودی، دوران یک دُزسنج محیطی یا ترکیبی از دُزسنج فردی و فانتوم مورد نیاز است. تغییر پاسخ ناشی از جهت پرتو فرودی باید حداقل با دوران حول دو محور عمود بر جهت باریکه فرودی مورد بررسی قرار گیرد. در صورت استفاده از دو محور، جهت محورها باید برهم عمود باشند. محورهای دوران باید از نقطه مرجع دُزسنج بگذرند. یادآوری- برای پرتوهای روی یک فانتوم، ممکن است چرخش فانتوم فقط در اطراف یک محور عملی باشد و این که دُزسنج را به طور متناوب در دو راستای عمود برهم روی سطح فانتوم قرار داد.

۷-۱-۴ شرایط دُزسنج تحت کالیبراسیون

قبل از انجام هر نوع کالیبراسیون، دُزسنج را باید مورد بررسی قرار داد تا اطمینان حاصل شود که در شرایط کاری خوبی بوده و عاری از آلودگی پرتوزا باشد. در صورت امکان توصیه می‌شود، عملکرد دستگاه به صورت الکترونیکی بررسی شود. روش اجرائی تنظیمات و عملیاتی دستگاه اندازه‌گیری باید مطابق با راهنمای به‌کارگیری آن باشد.

۲-۴ میدان‌های نوترونی مرجع تک انرژی و چند انرژی

۱-۲-۴ ملاحظات کلی

عامل کالیبراسیون یا پاسخ یک دُزسنج یک ویژگی منحصر به فرد مختص نوع دُزسنج است و عموماً به طیف شارش نوترون و زاویه نوترون‌های فرودی بستگی دارد، اما نباید تابعی از سایر ویژگی‌های سامانه کالیبراسیون یا روش‌های تجربی استفاده شده باشد. از این رو، روش‌های اجرائی کالیبراسیون یا تعیین پاسخ باید اطمینان دهند که نتایج، مستقل از روش و عوامل دیگری نظیر فاصله چشمه تا وسیله و اندازه اتاق هستند (برای موارد استثناء به بند ۷ مراجعه شود). به منظور تعیین پاسخ یا عامل کالیبراسیون آن‌ها، دستگاه‌ها در یک میدان پرتوی مرجع با آهنگ شارش میدان آزاد^۱ و توزیع طیفی معلوم قرار می‌گیرند. مطابق موارد فوق، در صورت برآورده نشدن شرایط کالیبراسیون، خوانش باید برای تمامی اثرات خارجی- از جمله اثرات مربوط به نوترون‌هایی که دارای انرژی مطلوب نبوده یا اثرات ناشی از پراکندگی نوترون به وسیله هوا و دیواره‌ها، کف و سقف اتاق کالیبراسیون- تصحیح شود (به استاندارد ISO 8529-2 مراجعه شود).

۲-۲-۴ اندازه‌گیری‌ها با نوترون‌های تک‌انرژی

اندازه‌گیری‌های پاسخ معادل دُز ممکن است در گستره وسیعی از انرژی نوترون ضروری باشد. روش‌های تولید میدان‌های نوترونی در گستره نوترون‌های گرمایی تا ۲۰ MeV در استاندارد ISO 8529-1 تشریح شده‌اند. به منظور به‌دست آوردن پاسخ یک دستگاه به صورت تابعی از انرژی فرودی، خوانش دستگاه در

1- Free-field fluence rate

معرض پرتو مرجع و مقدار واقعی قراردادی کمیت اندازه‌ده در نقطه آزمون باید برای سهم مربوط به پرتوهایی غیر از نوترون‌های تک‌انرژی مطلوب تصحیح شوند (به استاندارد ISO 8529-2 مراجعه شود).
لذا پاسخ شارش، طبق فرمول (۶) محاسبه می‌شود:

$$R_{\Phi} = \frac{M}{\Phi} \quad (۶)$$

که در آن:

M خوانش است که به صورت ذکر شده، تصحیح می‌شود؛

Φ شارش نوترون‌های تک‌انرژی است. پاسخ معادل دُز، طبق فرمول (۷) محاسبه می‌شود:

$$R_H = \frac{M}{H} = \frac{R_{\Phi}}{h_{\Phi}} \quad (۷)$$

که در آن h_{Φ} ضریب تبدیل مناسب شارش به معادل دُز است.

مقادیر عددی ضرایب تبدیل شارش به معادل دُز تحت شرایط مختلف پرتودهی در بندهای ۵ و ۶ ارائه شده‌اند.

یادآوری- نحوه فرمول‌نویسی فوق به منظور به‌دست آوردن R_H از R_{Φ} به این صورت است: ابتدا مقدار واقعی قراردادی کمیت معادل دُز، H ، در نقطه آزمون از طریق $H = h_{\Phi}\Phi$ تعیین می‌شود، سپس دُزسنج در نقطه آزمون قرار داده شده و پاسخ معادل دُز آن به صورت $R_H = M/H$ به‌دست آورده می‌شود.

۴-۲-۳ اندازه‌گیری‌ها با نوترون‌های چند انرژی

پرتوهای نوترونی مرجع مربوط به چشمه‌های رادیونوکلئید (به استاندارد ISO 8529-1 مراجعه شود) با توزیع‌های طیفی شناخته‌شده‌ای از آهنگ شارش به منظور کالیبراسیون دُزسنج، یعنی تعیین عامل کالیبراسیون برای مجموعه‌ای از شرایط مشخص به‌کار گرفته می‌شوند. روش‌های اجرایی کالیبراسیون دستگاه‌های حفاظت پرتویی با استفاده از چشمه‌های نوترونی رادیونوکلئید و به‌منظور تصحیح اثرات ناخواسته در استاندارد ISO 8529-2 توصیف شده است.

مقادیر عددی ضرایب تبدیل شارش به معادل دُز تحت شرایط پرتودهی مختلف در بندهای ۵ و ۶ ارائه می‌شوند.

یادآوری- برای توزیع طیفی شارش $\Phi_E(E)$ ، پاسخ معادل دُز طبق فرمول (۸) محاسبه می‌شود:

$$R_H = \frac{\int R_{\Phi}(E)\Phi_E(E)dE}{\int h_{\Phi}(E)\Phi_E(E)dE} \quad (۸)$$

۳-۴ روش‌های اجرایی اندازه‌گیری

۱-۳-۴ مشخصه‌های روش اجرایی

روش اجرایی جهت کالیبراسیون یا تعیین پاسخ یک دُزنسج، مستلزم تعیین خوانش تصحیح شده دُزنسج و مقدار واقعی قراردادی اندازه‌دهنده است (به زیربند ۴-۲ مراجعه شود). روش اجرایی ممکن است به آگاهی از پرتو مرجع بستگی داشته باشد: در ساده‌ترین حالت، کمیت‌های اصلی مشخص‌کننده میدان مرجع (آهنگ شارش، طیف) از طریق پژوهش‌های پیشین یا مشخصه‌های منبع پرتوی معلوم می‌شوند و در طول زمان پایدار هستند. در سایر حالت‌ها، پرتو مرجع ممکن است از طریق یک دستگاه استاندارد مشخصه‌یابی شود. در صورت لزوم، یک مانیتور به منظور تصحیح تغییرات آهنگ معادل دُز یا شارش در حین روش اجرایی کالیبراسیون می‌تواند استفاده شود.

۲-۳-۴ اندازه‌گیری در یک میدان معلوم پرتوی نوترون

دُزنسج‌های نوترون معمولاً در میدان‌های نوترونی با توزیع انرژی (و زاویه) معلوم از آهنگ شارش، کالیبره می‌شوند. برای مثال، هنگام به کار بردن چشمه‌های رادیونوکلئید، آهنگ شارش ϕ با استفاده از قدرت چشمه نوترون B و قدرت زاویه‌ای چشمه B_Q تعیین می‌شود ($\phi = B_Q / l^2$) و l فاصله از محور تقارن چشمه است، به استاندارد ISO 8529-2 مراجعه شود). مقدار واقعی قراردادی اندازه‌دهنده H از طریق شارش و ضریب تبدیل مناسب شارش به معادل دُز تعیین می‌شود. لذا عامل کالیبراسیون، N_B ، طبق فرمول (۹) محاسبه می‌شود:

$$N_B = \frac{h_\phi \Phi}{M_B} \quad (9)$$

که در آن:

N_B عامل کالیبراسیون دُزنسج تحت کالیبراسیون است؛

M_B مقدار اندازه‌گیری شده (در شرایط مرجع) دُزنسج تحت کالیبراسیون است که در صورت لزوم برای تمام اثرات خارجی پراکندگی نوترون تصحیح می‌شود؛

Φ شارش نوترون در نقطه آزمون است؛

h_ϕ ضریب تبدیل شارش به معادل دُز مربوط به توزیع انرژی و زاویه شارش نوترونی در نقطه آزمون است.

در شرایط مرجع، پاسخ معادل دُز طبق فرمول (۱۰) محاسبه می‌شود:

$$R_H = \frac{M_B}{h_\phi \Phi} \quad (10)$$

۳-۳-۴ اندازه‌گیری با استفاده از یک دستگاه استاندارد

در موارد مشخص، به عنوان مثال در راکتور یا میدان‌های نوترونی حاصل از شتاب‌دهنده، عامل کالیبراسیون یا پاسخ معادل دُز یک دُزسنج را می‌توان با استفاده از یک دستگاه استاندارد تعیین کرد. دستگاه‌های استاندارد برای پرتو نوترونی معمولاً معادل دُز را اندازه‌گیری نمی‌کنند، بلکه کمیت فیزیکی پایه‌ای تری نظیر شارش یا دُز جذبی را اندازه‌گیری می‌کنند. معادلات این قسمت برای حالتی که دستگاه‌های استاندارد بر حسب شارش کالیبره شده، ارائه شده‌اند.

اگر آهنگ شارش در میدان پرتوی در بازه زمانی وسیعی پایدار باشد، یعنی مدت زمان کافی که در آن نتایج کالیبراسیون با درستی مورد نیاز حاصل شوند، آن‌گاه دستگاه استاندارد و دُزسنج تحت آزمون را می‌توان متعاقباً برای مدت زمان یکسانی در نقطه آزمون تحت پرتودهی قرار داد؛ لذا عامل کالیبراسیون، طبق فرمول (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$N_B = \frac{h_{\phi} N_A M_A}{M_B} \quad (11)$$

که در آن:

N_A عامل کالیبراسیون دستگاه استاندارد است؛

M_A مقدار اندازه‌گیری شده دستگاه استاندارد در شرایط مرجع است.

کالیبراسیون‌ها ممکن است با پرتودهی همزمان آشکارسازهای دستگاه استاندارد و دستگاه تحت آزمون در یک میدان با قرار دادن آن‌ها به طور متقارن نسبت به محور میدان پرتوی در فاصله یکسانی از چشمه انجام شود. این روش اجرایی، برخی مواقع برای پرتوهای ناشی از شتاب‌دهنده و کالیبراسیون دُزسنج‌های محیطی استفاده می‌شود. فاصله بین دو آشکارساز باید به اندازه کافی زیاد باشد که خوانش هر دستگاه، متأثر از حضور دستگاه دیگر به میزان بیشتر از ۲٪ نباشد.

به‌منظور حذف اثر نامتقارن بودن میدان پرتوی، اندازه‌گیری‌ها می‌توانند پس از تعویض موقعیت‌های دو دستگاه تکرار شوند و عامل کالیبراسیون از طریق میانگین هندسی خوانش‌ها، طبق فرمول (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$N_B = h_{\phi} N_A \sqrt{\left(\frac{M_A}{M_B}\right)_1 \left(\frac{M_A}{M_B}\right)_2} \quad (12)$$

۴-۳-۴ اندازه‌گیری با استفاده از یک مانیتور

تغییرات آهنگ معادل دُز یا شارش در حین روش اجرایی کالیبراسیون (تغییرات کوتاه‌مدت رُخ‌داده در راکتورها یا شتاب‌دهنده‌ها) را می‌توان با استفاده از یک دستگاه مانیتور و از طریق پرتودهی متعاقب یک دستگاه استاندارد و دُزسنج تحت آزمون، تصحیح کرد. خوانش مانیتور باید رابطه ثابتی با پرتو مرجع داشته

باشد: آشکارساز دستگاه مانیتور می‌تواند به طور متقارن نسبت به دُزسنج تحت آزمون در میدان قرار داده شود (با در نظر گرفتن احتیاط‌های ذکر شده، به زیربند ۴-۳-۳ مراجعه شود) یا در مکانی که کالیبراسیون دُزسنج مختل نشود، اما بخشی که نماینده میدان است یا کمیت دیگری که رابطه ثابتی با میدان دارد، را اندازه‌گیری کند. این روش، مقادیر اندازه‌گیری M_A و M_B و خوانش‌های مربوطه دستگاه مانیتور را مرتبط می‌کند:

$$N_B = \frac{h_\phi N_A (M_A/m_A)}{M_B/m_B} \quad (13)$$

که در آن:

m_A مقدار اندازه‌گیری شده دستگاه مانیتور در شرایط مرجع برای پرتودهی دستگاه استاندارد است؛

m_B مقدار اندازه‌گیری شده دستگاه مانیتور در شرایط مرجع برای پرتودهی دستگاهی است که کالیبره می‌شود.

یادآوری ۱- در عمل، اگر پرتودهی‌های مربوط به دستگاه استاندارد ثانویه و دستگاه مورد کالیبراسیون در بازه کوتاهی پشت سر هم انجام شود، شرایط محیطی دستگاه مانیتور ثابت مانده و تصحیحات مربوط به مقدار بیان شده دستگاه مانیتور نسبت به شرایط مرجع غیرضروری است.

یادآوری ۲- در مواردی که دستگاه مانیتور پایداری بلندمدت خوبی دارد، بعد از کالیبره شدن با استفاده از دستگاه استاندارد، خود می‌تواند به عنوان دستگاه مرجع عمل نکند.

۵ روش‌های اجرایی کالیبره کردن و تعیین پاسخ معادل دُز در دُزسنج‌های محیطی قابل حمل و ثابت

۵-۱ کمیت مورد اندازه‌گیری و ضرایب تبدیل

کمیت مورد اندازه‌گیری در پایش محیط، معادل دُز محیطی، $H^*(10)$ ، است (به زیربند ۳-۱-۲ مراجعه شود) جداول ۱ و ۲ شامل ضرایب تبدیل h_ϕ^* است که شارش نوترون را به معادل دُز محیطی برای پرتوهای مرجع تبدیل می‌کند که در استاندارد ISO 8529-1 توصیه شده است.

۵-۲ شرایط پرتودهی

۵-۲-۱ مشخصه‌های مورد نیاز پاسخ

به طور ایده‌آل، دستگاه‌های اندازه‌گیری معادل دُز محیطی یا آهنگ معادل دُز محیطی باید دارای پاسخ شارش مستقلی از جهت نوترون‌های فرودی و با وابستگی انرژی مشابه با ضریب تبدیل شارش به معادل دُز محیطی باشند.

۲-۲-۵ شرایط دستگاه

اندازه‌گیری باید به طور آزاد در هوا تحت مجموعه شرایط کنترل شده مورد نیاز مطابق اسناد مربوط به کارخانه سازنده یا از طریق استاندارد محصول انجام شود. در پیوست الف، فهرست شرایط استاندارد آزمون و شرایط مرجع برای دستگاه اندازه‌گیری آهنگ دُز خوانش مستقیم الکترونیکی ارائه شده است.

۳-۲-۵ هندسه پرتودهی

کالیبراسیون یا تعیین پاسخ‌ها به صورت ایده‌آل توسط باریکه‌های پهن و موازی نوترون‌ها از طریق فراهم ساختن یک پرتودهی یکنواخت به کل حجم دستگاه انجام می‌شود. با استفاده از چشمه‌های نقطه‌ای (هدف‌های شتاب‌دهنده، چشمه‌های نوترون رادیونوکلئیدی)، به‌طور کلی این کار می‌تواند تنها از طریق فاصله کافی بین چشمه و دستگاه، یعنی کمترین فاصله‌ای که به اندازه دستگاه وابسته باشد، انجام شود. برای وسیله‌های کروی، یک تصحیح مربوط به هندسه ارائه شده است که استفاده از فواصل کمتر بین چشمه و دستگاه مجاز باشد. (به استاندارد ISO 8529-2 مراجعه شود). در صورت استفاده از باریکه نوترونی کم‌عرض هم‌سو شده، مانند آنچه که معمولاً در راکتورها یافت می‌شود، یک پرتودهی باریکه پهن باید از طریق جابه‌جایی مناسب دستگاه در عرض باریکه شبیه‌سازی شود.

۳-۵ ارزیابی اندازه‌گیری

پاسخ (یا عامل کالیبراسیون) دستگاه تحت شرایط مشخص شده در زیربند ۲-۵ با تعیین موارد زیر به‌دست می‌آید:

- خوانش دستگاه، تصحیح شده برای اثرات خارجی؛

- شارش نوترون‌های فرودی، تصحیح شده برای سهم‌های ناخواسته؛

و به‌کارگیری ضریب تبدیل مناسب شارش به معادل دُز مطابق با زیربند ۱-۵ (همچنین به بند ۴ مراجعه شود).

جدول ۱- ضریب تبدیل $h_{\Phi}^*(10; E)$ از شارش نوترون Φ به معادل دُز محیطی $H^*(10)$ برای پرتو نوترونی تک انرژی (ICRP 74^[11])

$h_{\Phi}^*(10, E)$ pSv.cm ²	انرژی نوترون keV
۱۰٫۶	گرمایی
۷٫۷	۲
۱۹٫۳	۲۵
۱۲۷	۱۴۴
۲۰۳	۲۵۰
۳۴۳	۵۶۵
۴۲۵	۱۲۰۰
۴۱۶	۲۵۰۰
۴۱۳	۲۸۰۰
۴۱۱	۳۲۰۰
۴۰۵	۵۰۰۰
۵۳۶	۱۴۸۰۰
۵۸۴	۱۹۰۰۰۰

جدول ۲- ضریب تبدیل $h_{\Phi}^*(10)$ از شارش نوترون Φ به معادل دُز محیطی $H^*(10)$ برای چشمه‌های رادیونوکلیدی توصیه شده توسط ایزو - مقدار میانگین $\overline{h_{\Phi}^*(10)}$ (ICRP 74^[11])

$h_{\Phi}^*(10)$ pSv.cm ²	چشمه نوترون
۱۰٫۵	²⁵² Cf (کند کننده D ₂ O)
۳۸۵	²⁵² Cf
۴۰٫۸	²⁴¹ Am-B (α, n)
۳۹۱	²⁴¹ Am-Be (α, n)

۶ روش‌های اجرایی کالیبره کردن و تعیین پاسخ معادل دُز مربوط به دُزسنج‌های فردی

۱-۶ کمیت مورد اندازه‌گیری و ضرایب تبدیل

کمیت مورد اندازه‌گیری در پایش فردی، معادل دُز فردی، $H_p(10)$ ، است (به زیربند ۳-۱-۳ مراجعه شود). در جداول ۳ و ۴ ضرایب تبدیل، $h_{p\Phi}$ ، ارائه شده است که شارش نوترون را به $H_p(10)$ در عمق ۱۰ mm از مرکز وجه جلویی فانتوم تخت به ابعاد ۱۵ cm × ۳۰ cm × ۳۰ cm از جنس ماده معادل بافت چهار عنصری ICRU با چگالی ۱ g/cm³ (بافت ICRU) برای پرتوهای مرجع تبدیل می‌کند که در استاندارد ISO 8529-1 توصیه شده است (به مدرک [6] ICRU Report 47 مراجعه شود).

۲-۶ شرایط پرتودهی

۱-۲-۶ مشخصه‌های مورد نیاز پاسخ

به طور ایده‌آل دُزسنج‌های فردی، در صورت ثابت شدن بر روی یک فانتوم مناسب، باید دارای پاسخ شارش وابسته به انرژی و زاویه مشابه ضریب تبدیل شارش به معادل دُز فردی باشند (به زیربند ۲-۲-۶ مراجعه شود). لذا فرض می‌شود هنگامی که دُزسنج روی بدن ثابت باشد، معادل دُز فردی را اندازه‌گیری می‌کند. گستره زوایایی که آزمون‌ها در آن انجام می‌گیرند، در قوانین و ضوابط ملی یا سایر استانداردها ارائه می‌شوند.

۲-۲-۶ فانتوم کالیبراسیون

اندازه‌گیری‌های پاسخ به صورت تابعی از انرژی نوترون و جهت پرتو فرودی و کالیبراسیون‌های دُزسنج‌های فردی باید روی فانتومی انجام شوند که دارای ابعاد بیرونی $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ با دیواره‌هایی از جنس PMMA^۱ (دیواره جلویی با ضخامت ۲/۵ mm، سایر دیواره‌ها با ضخامت ۱۰ mm) که با آب پُر شده است باشد که تحت عنوان فانتوم تخت آب ایزو^۲ شناخته می‌شود.

ابتدا دُزسنج فردی روی وجه جلویی فانتوم به نحوی ثابت می‌شود که جهت مرجع دُزسنج با بُردار عمود بر وجه جلویی فانتوم منطبق باشد. سپس نقطه مرجع دُزسنج در نقطه آزمون قرار داده می‌شود و دُزسنج به همراه فانتوم حول محوری که از نقطه مرجع می‌گذرد، می‌چرخد؛ بنابراین جهت مرجع دُزسنج، زاویه مورد نظر با جهت پرتو فرودی را تشکیل خواهد داد.

زمانی که فانتوم تخت آب ایزو مطابق جزئیات فوق استفاده می‌شود، نباید هیچ تصحیحی را برای خوانش دُزسنج فردی تحت آزمون با توجه به اختلافات در پس‌پراکندگی بین این مورد و فانتوم تخت معادل بافت^۳ ICRU به کار برد (به منبع [۱۲] کتاب‌نامه مراجعه شود).

1- Polymethyl methacrylate
2- ISO water slab phantom
3- Tissue slab phantom

جدول ۳- ضریب تبدیل $h_{p\Phi}(10; E, \alpha)$ از شارش نوترون Φ به معادل دُز $H_p(10)$ در فانتوم تخت معادل بافت ICRU (به زیربند ۳-۱-۳ مراجعه شود) برای پرتو نوترونی تک انرژی و موازی (میدان گسترده) (ICRP 74 [11])

$h_{p\Phi}(10; E, \alpha)$ بر حسب pSv.cm^2 برای زوایای فرودی α						انرژی نوترون keV
75°	60°	45°	30°	15°	0°	
۱,۷۳	۴,۰۴	۶,۶۱	۹,۱۱	۱۰,۶	۱۱,۴	گرمایی
۱,۶۷	۳,۴۶	۵,۴۳	۷,۲۷	۸,۲۲	۸,۷۲	۲
۲,۳۸	۷,۸۵	۱۳,۶	۱۷,۲	۱۹,۹	۲۰,۲	۲۴
۲۲,۹	۶۹,۹	۱۰,۲	۱۲۱	۱۳۱	۱۳۴	۱۴۴
۴۷,۰	۱۲۵	۱۷۳	۲۰۱	۲۱۴	۲۱۵	۲۵۰
۱۱۵	۲۴۵	۳۱۳	۳۴۷	۳۴۹	۳۵۵	۵۶۵
۲۱۰	۳۵۵	۴۱۲	۴۴۰	۴۲۷	۴۳۳	۱۲۰۰
۲۹۴	۴۱۰	۴۴۱	۴۵۴	۴۳۴	۴۳۷	۲۵۰۰
۳۰۲	۴۱۲	۴۴۱	۴۵۱	۴۳۱	۴۳۳	۲۸۰۰
۳۰۹	۴۱۲	۴۳۹	۴۴۷	۴۲۷	۴۲۹	۳۲۰۰
۳۳۱	۴۰۹	۴۳۵	۴۳۷	۴۱۸	۴۲۰	۵۰۰۰
۵۱۷	۵۷۶	۵۷۲	۵۸۱	۵۶۳	۵۶۱	۱۴۸۰۰
۵۶۸	۶۲۰	۶۱۴	۶۲۱	۵۹۶	۶۰۰	۱۹۰۰۰۰

جدول ۴- ضریب تبدیل $h_{p\Phi}(10; \alpha)$ از شارش نوترون Φ به معادل دُز $H_p(10)$ در فانتوم تخت معادل بافت ICRU (به زیربند ۳-۱-۳ مراجعه شود) برای پرتو نوترونی موازی (میدان گسترده) - مقدار میانگین $h_{p\Phi}(10; \alpha)$ (ICRP 74 [11])

$h_{p\Phi}(10; \alpha)$ بر حسب pSv.cm^2 برای زوایای فرودی α						چشمه نوترون
75°	60°	45°	30°	15°	0°	
۵۶,۱	۸۷,۴	۱۰,۲	۱۰,۹	۱۰,۹	۱۱,۰	^{252}Cf (کند کننده D_2O)
۲۳۰	۳۴۶	۳۸۹	۴۰,۹	۳۹۷	۴۰,۰	^{252}Cf
۲۸۹	۳۹۹	۴۳۱	۴۴۳	۴۲۴	۴۲۶	$^{241}\text{Am-B} (\alpha, n)$
۲۹۳	۳۸۹	۴۱۵	۴۲۴	۴۰,۹	۴۱۱	$^{241}\text{Am-Be} (\alpha, n)$

همیشه نیاز به انجام کالیبراسیون‌های روزمره (به یادآوری ۲ زیربند ۳-۲-۱۱ مراجعه شود) روی فانتوم تخت آب ایزو، نیست. اما کالیبراسیون در برخی از مواقع و به صورت ساده‌تر، برای مثال به طور آزاد در هوا یا حتی با نوع متفاوتی از پرتو که دستگاه مورد نظر به منظور اندازه‌گیری آن به کار می‌رود، می‌تواند، انجام شود. این گونه ساده‌سازی‌ها، در صورت به کارگیری، باید قبل از پذیرش و با نشان دادن این‌که آن‌ها در مقایسه با روش‌های اجرایی تشریح شده در این استاندارد، منجر به نتایج یکسانی می‌شوند یا این‌که هر گونه اختلافی

بتواند با اطمینان تصحیح شود، قابل توجه باشند. این کار می‌تواند بر مبنای آزمون نوعی انجام شود. در صورتی که دُزسنج به پرتو پَس پراکنده بسیار حساس باشد، ترجیحاً کالیبراسیون روی فانتوم انجام گیرد.

۳-۲-۶ هندسه پرتودهی

کالیبراسیون یا تعیین پاسخ‌ها به صورت ایده‌آل با پرتودهی یکنواخت باریکه‌های پهن و موازی نوترون‌ها بر کل حجم دُزسنج و فانتوم انجام می‌شود. با استفاده از چشمه‌های نقطه‌ای (هدف‌های شتاب‌دهنده، چشمه‌های نوترون رادیونوکلئیدی)، این کار به طور کلی می‌تواند تنها از طریق ایجاد فاصله کافی بین چشمه و نقطه آزمون صورت گیرد. در صورت استفاده از یک باریکه نوترون کم‌عرض هم‌سوسده، مانند آنچه که معمولاً در راکتورها یافت می‌شود، یک پرتودهی باریکه پهن باید از طریق جابه‌جایی مناسب فانتوم در عرض باریکه شبیه‌سازی شود.

چرخش فانتوم حول محور عمودی که از نقطه آزمون می‌گذرد، زاویه فرودی را تغییر می‌دهد. اگر چندین دُزسنج فردی به طور همزمان بر روی وجه جلویی فانتوم تخت پرتودهی شوند، باید روی دایره‌ای حول مرکز وجه جلویی به نحوی ثابت شوند که هیچ جزء حساس دُزسنج، خارج از دایره‌ای به قطر ۱۵ cm قرار نداشته باشد. ممکن است لازم باشد اثر تغییرات پَس پراکندگی فانتوم ناشی از حفاظ‌سازی جزئی آن به وسیله آرایه‌ای از دُزسنج‌ها در نظر گرفته شود. برای تعیین همزمان پاسخ چندین دُزسنج به صورت تابعی از جهت پرتو فرودی، باید چندین نقطه آزمون روی محور چرخش قرار گیرند.

۳-۶ ارزیابی اندازه‌گیری

- پاسخ (یا عامل کالیبراسیون) دستگاه تحت شرایط مشخص شده در بالا، با تعیین موارد زیر به دست می‌آید:
- خوانش دُزسنج که برای اثرات خارجی، به غیر از اختلاف‌های پَس پراکندگی بین فانتوم تخت آب ایزو و فانتوم تخت معادل بافت ICRU، تصحیح شده است؛
 - شارش نوترون‌های فرودی که برای سهم‌های ناخواسته و با به کارگیری ضرایب تبدیل مناسب شارش به معادل دُز مطابق با زیربند ۶-۱ تصحیح شده است (به بند ۴ نیز مراجعه شود).

۷ تعیین پاسخ معادل دُز در میدان‌های نوترونی سرگردان^۱

از آنجایی که پاسخ معادل دُز اکثر دستگاه‌های پایش نوترون، کم و بیش به انرژی وابسته می‌باشد، اغلب به دست آوردن عامل کالیبراسیون در میدان‌های ویژه‌ای که به منظور شبیه‌سازی تقریبی میدان‌های موجود در محیط کار تولید شده‌اند اما در میدان‌های ذکر شده در استاندارد ISO 8529-1 وجود ندارند، مفید است. به عنوان مثال، به‌طور ویژه این موضوع برای دُزسنج نوترونی آلبدو صادق است. در این مورد، کالیبراسیون

1- Stray neutron fields

ممکن است فقط برای این میدان معتبر باشد و می‌تواند به پارامترهایی نظیر فاصله آشکارساز تا منبع یا اندازه اتاق بستگی داشته باشد (بر خلاف اصول کلی تشریح شده در زیربند ۴-۱).
در مورد دُزسنج فردی، کمیت مناسب، معادل دُز فردی، $H_p(10)$ ، است. به جای تعیین عامل کالیبراسیون یا پاسخ منحصر به فرد، تحقیقی از این نوع، به منظور آزمون سازگاری دستگاه در این میدان ویژه به کار می‌رود.

۸ ارائه نتایج

۱-۸ سوابق و گواهی نامه‌ها

شکل و جزئیات مربوط به سوابق کالیبراسیون و گواهی‌نامه‌ها و همچنین تناوب کالیبراسیون و مدت زمان حفظ سوابق کالیبراسیون یا گواهی‌نامه‌ها، اغلب در قوانین و ضوابط ملی را مشخص شده است.
سوابق یا گواهی نامه‌ها باید شامل موارد زیر باشند:

- الف- تاریخ و محل انجام کالیبراسیون؛
- ب- توصیف دُزسنج، نوع و شماره سریال آن؛
- پ- مالک دُزسنج؛
- ت- جزئیات مربوط به منابع پرتوی و مشخصه‌های میدان و در صورت کاربرد، اطلاعات مربوط به دستگاه استاندارد مورد استفاده؛
- ث- شرایط مرجع، شرایط کالیبراسیون و/یا شرایط استاندارد آزمون؛
- ج- نتایج؛
- چ- نام و نام خانوادگی فرد انجام‌دهنده کالیبراسیون؛
- ح- هرگونه مشاهدات خاص.

۲-۸ بیان عدم قطعیت‌ها

بیان عدم قطعیت‌ها باید با استاندارد [1] GUM: 1993 سازگار باشد. مؤلفه‌های عدم قطعیت‌های زیر باید در نظر گرفته شوند:

- الف- عدم قطعیت مربوط به مقدار واقعی قراردادی؛
- ب- عدم قطعیت در موقعیت‌یابی دقیق دستگاه‌های آزمون و استاندارد (به زیربند ۴-۱-۵ و استاندارد ISO 8529-2 مراجعه شود) که توسط آزمایشگاه آزمون ارزیابی می‌شود؛
- پ- عدم قطعیت ضریب تبدیل؛ به صورت قراردادی برای نوترون‌های تک‌انرژی صفر در نظر گرفته می‌شود، همچنین برای طیف‌های گسترده، به استاندارد ISO 8529-2 مراجعه شود؛
- ت- عدم قطعیت مربوط به ناهمگنی‌های میدان بر روی ناحیه سطح مقطع باریکه در صفحه اندازه‌گیری مربوط به واگرایی پرتو؛

ث- عدم قطعیت مربوط به پرتودهی همزمان چندین دُزنسج؛ باید تخمینی از اثر جذب پرتو اولیه توسط دُزنسج‌ها صورت گرفته و به مؤلفه‌های عدم قطعیت اضافه شود، که در صورت کاربرد، تا حد بالای ۲٪ قابل قبول است؛

ج- عدم قطعیت‌های مربوط به ساده‌سازی روش‌های اجرایی؛ در صورت انجام ساده‌سازی، توسط آزمایشگاه ارزیابی و حداکثر تا حد بالای ۲٪ قابل قبول است (به زیربند ۶-۲-۲ مراجعه شود).
مقادیر عددی ارائه شده به عنوان یک راهنما به صورت عدم قطعیت استاندارد بیان می‌شوند. به منظور کسب اطلاعات بیشتر، به استاندارد ISO 8529-2 مراجعه شود.

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

بیان شرایط مرجع و شرایط استاندارد آزمون مورد نیاز

جدول الف-۱- پارامترهای رادیولوژیکی

شرایط استاندارد آزمون (مگر این که مشخص شود)	شرایط مرجع	کمیت‌های تأثیرگذار
$^{241}\text{Am-Be } (\alpha, n)$ الف	$^{241}\text{Am-Be } (\alpha, n)$ الف	انرژی نوترون
راستای مرجع $\pm 5^\circ$	راستای مرجع	زاویه پرتو فرودی
ناچیز	ناچیز	آلودگی توسط عناصر پرتوزا
$\dot{H}^*(10) \leq 0.25 \mu\text{Sv/h}$	$\dot{H}^*(10) \leq 0.1 \mu\text{Sv/h}$	پرتو زمینه

الف ممکن است از کیفیت پرتوی مناسب‌تر دیگری استفاده شود.

جدول الف-۲- سایر پارامترها

شرایط استاندارد آزمون (مگر این که مشخص شود)	شرایط مرجع	کمیت‌های تأثیرگذار
$18^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}$ ب	20°C	دمای محیط
$50\% - 75\%$ ب	65%	رطوبت نسبی
$86 \text{ kPa} - 106 \text{ kPa}$ ب	$101,3 \text{ kPa}$	فشار اتمسفر
$> 15 \text{ min}$	15 min	زمان پایدارسازی
ولتاژ نامی منبع تغذیه $\pm 3\%$	ولتاژ نامی منبع تغذیه	ولتاژ منبع تغذیه
فرکانس نامی $\pm 1\%$	فرکانس نامی	فرکانس الف
سینوسی با اعوجاج کلی هماهنگ موجی شکل کمتر از 5% الف	سینوسی	شکل موج منبع تغذیه A.C الف
کمتر از حداقل مقداری که باعث تداخل می‌شود	ناچیز	میدان الکترومغناطیس با منشأ خارجی
کمتر از دو برابر مقدار القای ناشی از میدان مغناطیسی زمین	ناچیز	القای مغناطیسی با منشأ خارجی
تنظیمات برای کارکرد معمول	تنظیمات برای کارکرد معمول	کنترل‌های سیستم

الف تنها برای سیستم‌هایی که از منبع ولتاژ اصلی تغذیه می‌کنند.
ب مقادیر واقعی این کمیت‌ها در زمان آزمون باید بیان شوند. مقادیر این جدول در شرایط آب و هوایی معتدل در نظر گرفته شده‌اند. در صورتی که دستگاه‌ها در سایر شرایط آب و هوایی مورد استفاده قرار گیرند، تجاوز از گستره شرایط استاندارد آزمون مندرج در این جدول می‌تواند مجاز باشد.

پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

فهرست علائم به کار رفته در این استاندارد

B	Source strength	قدرت چشمه
B_{Ω}	Angular source strength	قدرت زاویه‌ای چشمه
d	Distance (misalignment)	فاصله (جابه‌جایی)
D	Absorbed dose	دُز جذبی
E	Radiation (neutron) energy	انرژی (نوترون) پرتوی
H	Dose equivalent	معادل دُز
$H^*(10)$	Ambient dose equivalent	معادل دُز محیطی
$H_p(10)$	Personal dose equivalent	معادل دُز فردی
h_{ϕ}	Fluence-to-dose equivalent conversion coefficient	ضریب تبدیل شارش به معادل دُز
h_{ϕ}^*	Fluence-to-ambient dose equivalent conversion coefficient	ضریب تبدیل شارش به معادل دُز محیطی
$h_{p\phi}$	Fluence-to-personal dose equivalent conversion coefficient	ضریب تبدیل شارش به معادل دُز فردی
l	Source-detector distance	فاصله چشمه تا آشکارساز
M	Reading of a measuring instrument (measured value)	خوانش دستگاه اندازه‌گیری (مقدار اندازه‌گیری شده)
M_A	Measured value of a standard instrument at reference conditions	مقدار اندازه‌گیری شده دستگاه استاندارد در شرایط مرجع
M_B	Measured value (at reference conditions) of instrument under calibration	مقدار اندازه‌گیری شده (در شرایط مرجع) دستگاه تحت کالیبراسیون
m	Measured value of a monitor	مقدار اندازه‌گیری شده مانیتور
N	Calibration factor	عامل کالیبراسیون
N_A	Calibration factor of a standard instrument	عامل کالیبراسیون دستگاه استاندارد
N_B	Calibration factor of instrument under calibration	عامل کالیبراسیون دستگاه تحت کالیبراسیون
Q	Quality factor	عامل کیفیت
R	Response	پاسخ

ادامه پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

فهرست علائم به کار رفته در این استاندارد

R_ϕ	Fluence response	پاسخ شارش
R_H	Dose equivalent response	پاسخ معادل دُز
α	Angle between a specified direction and the direction of a parallel neutron field	زاویه بین یک جهت مشخص و جهت یک میدان نوترونی موازی
ϕ	Neutron fluence rate	آهنگ شارش نوترون
Φ	Neutron fluence	شارش نوترون
Φ_E	Spectral neutron fluence	شارش طیفی نوترون
$\vec{\Omega}$	Direction of radiation incidence	جهت پرتو فرو

کتابنامه

- [1] BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML:1993, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.
- [2] ICRU Report 33:1990, Radiation Quantities and Units. ICRU, Washington, D.C.
- [3] ICRU Report 39:1985, Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources — ICRU, Bethesda, MD.
- [4] ICRU Report 43:1988, Determination of Dose Equivalents from External Radiation Sources — Part 2. ICRU, Bethesda, MD.
- [5] ICRU Report 47:1992, Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations. ICRU, Bethesda, MD.
- [6] ICRU Report 51:1993, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry. ICRU, Bethesda, MD.
- [7] IEC 1005:1990, Portable neutron ambient dose equivalent rate-meters for use in radiation protection. Geneva.
- [8] IEC 1525:1996, Radiation protection instrumentation — X, gamma, high energy beta and neutron radiations — Direct reading personal dose equivalent and/or dose equivalent rate monitors.
- [9] ICRP Publication 21:1971, Data for Protection against Ionizing Radiation from External Sources.
- [10] ICRP Publication 60:1990, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP, 21, 1-3 (1991).
- [11] ICRP Publication 74:1995, Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation. Annals of the ICRP, 27, 4 (1996).
- [12] MCDONALD, J.C., TANNER, J.E., STEWART, R.D., MICHEL, R., MURPHY, M.K. and TRAUB, R.J.: *Effect of Phantom Size and Composition on Neutron Dosimeter Reading. Radiation Protection Dosimetry* 59 (1995), pp. 263-268.