ISIRI
11679
1st. edition

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
مؤسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران
Institute of Standards and Industrial Research of Iran

استاندارد ملی ایران
۱۱۶۷۹
چاپ اول

تجهیزات الکتریکی پزشکی- وسایل تصویربرداری رادیو نوکلئیدی – مشخصات و شرایط آزمون– دوربین گاما مدل انگر

Medical electrical equipment- Characteristic and test conditions of radionuclide imaging devices- Anger type gamma cameras

ICS:11.040.50

به‌نام خدا

آشنایی با مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی 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.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه* 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 ذیصلاح 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 شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی 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 پیشرفتهای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بینالمللی بهره‌گیری می‌شود.

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی 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 کشو ر و / یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. مؤسسه 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 سا زمانها 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 ، مؤسسهٔ استاندارد 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 آنها 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 مؤسسه است.

---

* موسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

1- International organization for Standardization
2 - International Electro technical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد« **تجهیزات الکتریکی پزشکی- وسایل تصویربرداری رادیو نوکلئیدی – مشخصات و شرایط آزمون- دوربین گاما مدل انگر**»

رئیس:	سمت و/ یا نمایندگی
کمالی اصل ، علیرضا (دکتری پرتوپزشکی)	عضو هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی
دبیران:	
علیخانی ، محمد مهدی (فوق لیسانس مهندسی هسته ای- گرایش راکتور)	شرکت ساخت و راه اندازی نیروگاه های اتمی(سورنا)
بصیرنیا ،حلیه (مهندسی پزشکی)	موسسه استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
بادامچی ، مهرام (فوق لیسانس مهندسی پزشکی)	موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
تمهیدی ، شهبا (فوق لیسانس مهندسی پزشکی)	دانشگاه صنعتی امیرکبیر
حیدرپور ، مازیار (فوق لیسانس پرتوپزشکی)	شرکت تجهیزات پزشکی پیشرفته
صیادی ، سعید (فوق لیسانس مهندسی برق)	مدیر عامل شرکت بهسازطب
ضیائی ، لیا (فوق لیسانس مهندسی پزشکی)	موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
معینیان ، سید شهاب (فوق لیسانس شیمی)	موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

صفحه

فهرست

آشنایی با مؤسسهٔ استاندارد ج
کمیسیون فنی تدوین استاندارد د
پیش گفتار و
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۱
۴ روشهای آزمون ۴
۴-۱ الزامات عمومی ۵
۴-۲ حساسیت سیستم ۵
۴-۳ قدرت تفکیک فضائی ۷
۴-۴ غیر خطی بودن فضائی ۹
۴-۵ غیر یکنواختی پاسخ ۱۰
۴-۶ قدرت تفکیک انرژی ذاتی ۱۲
۴-۷ ثبت فضائی چند پنجره ایی ذاتی ۱۲
۴-۸ ویژگی نرخ شمارش ۱۴
۴-۹ آزمون نشتی حفاظ ۱۶
۵ مدارک همراه ۱۶
شکل ۱ – کووت ۱۷
شکل ۲- فانتوم استوانه ایی ۱۸
شکل ۳- چشمه یکنواخت ۱۸
شکل ۴- فانتوم شکاف دار برای اندازه گیری قدرت تفکیک ذاتی و غیر خطی بودن فضائی ۱۹
شکل ۵- ترتیب قرارگیری چشمه برای اندازه گیری های ذاتی (۴-۳-۵، ۴-۴-۱ ، ۴-۵-۴ و ۴-۶) ۲۰
شکل ۶- چشمه مایع با حفاظ کوچک ۲۰
شکل ۷- اندازه گیری FWHM ۲۱
شکل ۸- ارزیابی پهنای معادل (EW) ۲۲
کتابنامه ۲۳

پیش گفتار

استاندارد" تجهیزات الکتریکی پزشکی- وسایل تصویربرداری رادیو نوکلئیدی – مشخصات و شرایط آزمون– دوربین گاما مدل انگر " که پیش نویس آن درکمیسیون های مربوط توسط (مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران) تهیه و تدوین شده و در یکصدو نودو پنجمین اجلاس کمیتهٔ ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۸۷/۸/۲۸ مورد تصویب قرار گرفته است ، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ ، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود .

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر 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 ماخذی که برای تهیهٔ این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

IEC 60789,2005: Medical electrical equipment- Characteristic and test conditions of radionuclide imaging devices- Anger type gamma cameras.

تجهیزات الکتریکی پزشکی- وسایل تصویربرداری رادیو نوکلئیدی – مشخصات و شرایط آزمون– دوربین گاما مدل انگر

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد مشخص کردن روشهای آزمون برای تعریف و ارائه ویژگی های دوربین گاما مدل انگر می باشد. در ادامه به کلیماتور، حفاظ آشکارساز و آشکارساز تابش بکار گرفته شده به همراه مجموعه وسایل نمایش و ثبت اطلاعات پرداخته می شود.

الزامات مربوط به ایمنی که باید توسط سازندگان بر طبق استاندارد ملی ایران ۳۳۶۸ رعایت شود، در استاندارد لحاظ نشده است.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی معرفی شده، حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آنها ارجاع داده شده است. به این ترتیب این مقررات، جزیی از این استاندارد محسوب می شوند. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و/ یا تجدید نظر، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نیست. با این وجود ، بهتر است کاربران ذینفع این استاندارد، امکان کاربرد آخرین اصلاحیه ها و تجدید نظر های مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و/ یا تجدید نظر، آخرین چاپ و/ یا تجدید نظر آن مدارک الزامی که ارجاع داده شده، مورد نظر می باشد.

استفاده از مراجع ذیل برای استفاده از این استاندارد الزامی است:

IEC 60788,2004: Medical electrical equipment- Glossary of defined terms

۳ اصطلاحات و تعاریف

برای تامین اهداف این استاندارد، تعاریف داده شده در استاندارد IEC60788 و اصطلاحات زیر به کار می‌روند.

۳-۱

پنجرهٔ انرژی

محدوده تعریف شده انرژی که سیگنال‌های حامل انرژی در آن محدوده برای پردازش های بعدی توسط سیستم، قابل قبول تلقی می شوند.

۳-۲

میدان دید آشکارساز(FOV)

ناحیه‌ای فیزیکی از آشکارساز که برای آن همه ویژگیهای کابردی مهیا گردیده و سیگنال دریافتی در این ناحیه، بصورت اطلاعات تصویری به نمایش در می آید.

۳-۳

سطح جلویی کلیماتور

سطحی از کلیماتور که به شیءایی که باید از آن تصویر برداری شود، نزدیکتر است.

۴-۳

سطح پشتی کلیماتور

سطحی از کلیماتوراست که به آشکارساز تابش نزدیک‌تر است.

۵-۳

میدان ورودی کلیماتور

ناحیه ای که بوسیله کوتاهترین خط مماس بر لبه خارجی روزنه های کناری در سطح جلویی کلیماتور محدود می شود.

۶-۳

میدان خروجی کلیماتور

ناحیه ای که بوسیله کوتاه ترین خط مماس بر لبه‌های خارجی روزنه‌های کناری در سطح پشتی کلیماتور محدود می شود.

۷-۳

محور کلیماتور

خط مستقیمی که از مرکز هندسی میدان‌های ورودی و خروجی کلیماتور عبور می‌کند.

۸-۳

کلیماتور سوراخ-موازی

کلیماتور با تعدادی روزنه که محورهای آنها با هم موازی هستند.

۹-۳

کلیماتور تک-سوراخ

کلیماتوری است که دارای یک روزنه کوچک در صفحه‌ای روبروی مجموعه آشکار ساز تابش می باشد.

۱۰-۳

مکان یابی رویهم افتادگی(Pile up)

در دوربین گاما، محاسبه اشتباه در مکان یابی از یک حادثه غیر واقعی که از پنجرهٔ انرژی عبور کرده، ولی بوسیله اثر رویهم افتادگی از دو رویداد یا تعداد بیشتری تشکیل شده است.

۱۱-۳

اثر رویهم افتادگی

بروز خطا در اندازه گیری دامنه پالس که بعلت جذب دو یا تعداد بیشتری پرتو γ که هم زمان به یک آشکارساز می‌رسند، در دوربین گامارخ می دهد.

[تعریف برگرفته از استاندارد IEC 61675-1، زیربند ۲-۷-۴-۱]

۱۲-۳

حساسیت سیستم

در دوربین گاما با کلیماتور و پنجرهٔ انرژی مشخص، حساسیت سیستم عبارت است از نسبت نرخ شمارش سر آشکار ساز به فعالیت یک چشمه صفحه‌ای کـه دارای ابعـاد مشـخص بـوده و شـامل مقـدار مشخصـی رادیـو نوکلوئید است که به صورت عمودی و در وسط محور کلیماتور تحت شرایط خاصی قرار داده شده است.

یادآوری- شکل ۲ ملاحظه شود.

۱۳-۳

تابع پهن شدگی خطی ذاتی (LSF)

تابع پهن شدگی خطی(LSF) اندازه گیری شده با یک چشمه خطی موازی شده در جلوی سـر آشکارسـاز و بدون آشکار ساز.

۱۴-۳

تابع پهن شدگی خطی سر آشکارساز

LSF اندازه گیری شده توسط یک چشمه خطی موازی نشده در فاصله مشخصZ از سطح جلویی کلیماتور

۱۵-۳

عرض معادل (EW)

عرض یک مستطیل که مساحت آن مشابه مساحت LSF بوده و ارتفاع آن معادل بیشترین مقدار LSF است.

۳-۱۶

قدرت تفکیک فضائی

توانایی متمرکز کردن توزیع چگالی شمارش در تصویر یک چشمه نقطه‌ای به یک نقطه

[تعریف برگرفته از استاندارد IEC 61675-1، زیربند ۲-۴]

۳-۱۷

قدرت تفکیک فضائی سیستم

قدرت تفکیک فضائی دوربین گاما در یک محیط پراکنده ساز برای یک کلیماتور مشخص، یـا رادیونوکلوئیـد مشخص و در فاصله مشخص از سطح جلویی کلیماتور

۱۸-۳

قدرت تفکیک فضائی ذاتی

قدرت تفکیک فضائی دوربین گاما در هوا برای یک رادیو نوکلوئید مشخص بدون کلیماتور

۱۹-۳

طیف انرژی ذاتی

هیستوگرام اندازه‌گیری شده(نمودار ستونی)ارتفاع‌های پالس ها برای سر آشکارساز بدون کلیماتور

یادآوری- اندازه پالس بایستی مطابق با انرژی بیان شود.

۲۰-۳

قدرت تفکیک انرژی ذاتی

عرض کامل طیف انرژی در نصف مقدار حداکثر انرژی جذب برابر طیف انرژی ذاتی برای یک رادیو نوکلوئید مشخص است.

۲۱-۳

ثبت فضائی چند پنجره‌ای

اندازه گیری موقعیت چشمه به صورت تابعی از تنظیم پنجرهٔ انرژی

۲۲-۳

غیر یکنواختی ذاتی پاسخ

پاسخ غیر یکنواخت سر آشکارساز بدون کلیماتور

۲۳-۳

غیر یکنواختی سیستمی پاسخ

پاسخ غیر یکنواخت سر آشکارساز همراه با کلیماتور

۲۴-۳

غیر خطی بودن فضائی

انحرافات تصویر یک چشمه خطی راست از خط مستقیم

۲۵-۳

غیر خطی بودن فضائی ذاتی

غیر خطی بودن فضائی سر آشکارساز بدون کلیماتور

۲۶-۳

شمارش از دست رفته

اختلاف میان شمارش اندازه‌گیری شده و نرخ شمارش واقعی که ناشی از محدودیت زمان آشکار سازی دستگاه می باشد.

[تعریف برگرفته از استاندارد IEC 61675-1، زیربند ۲-۷-۱]

۲۷-۳

نرخ شمارش

تعداد شمارش‌ها در واحد زمان.

[تعریف برگرفته از استاندارد IEC 61675-1، زیربند ۲-۷-۲]

۴ روش‌های آزمون

۴-۱ الزامات عمومی

تمام اندازه‌گیری ها باید با تنظیم پنجره انرژی طبق جدول شماره ۱ انجام شود.

جدول ۱- رادیو نوکلوئیدها و پنجره‌های انرژی که باید برای انجام اندازه گیری‌ها بکار روند.

رادیو نوکلوئید	پنجره انرژی(keV)
$^{99\,m}$ Tc	101 با انحراف ±7/5%
^{131} I	369با انحراف ±10%
^{67} Ga	93-189-300 با انحراف±20%
^{68} Ga	511 با انحراف ±10%

اندازه گیری‌های بیشتری با تنظیمات دیگر که توسط سازندگان مشخص شده نیز می‌تواند انجام شود. قبل از اینکه این اندازه گیری‌ها انجام شوند، دوربین باید طبق فرآیندی تنظیم شود که بطور معمول توسط سازنده برای یک واحد نصب شده مورد استفاده قرار می گیرد و نباید طوری تنظیم شود که فقط پارامترهای خاصی را اندازه‌گیری کند.

اندازه‌گیری‌ها باید با نرخ شمارشی انجام شوند که از ۲۰۰۰۰ شمارش در ثانیه بیشتر نشود، مگر اینکه بصورت دیگری گفته شده باشد.

۴-۲ حساسیت سیستم

۴-۲-۱ کلیات

حساسیت پارامتری است که مؤثر بودن سیستم برای آشکار کردن تابش گسیل شده از یک چشمه رادیواکتیو را مشخص می‌کند. به عبارت دیگر نرخ رخدادهای آشکار شده در حضور یک چشمه رادیو اکتیو با فعالیت کم نزدیک به حد، در حالیکه شمارش‌های از دست رفته قابل اغماض هستند. نرخ شمارش اندازه‌گیری شده برای اکتیویته داده شده و رادیونوکلوئید مشخص به عوامل مختلفی از جمله، جنس و مادهٔ حساس آشکار ساز، ابعاد و ضخامت آن، اندازه و شکل چشمه رادیو اکتیو شامل خواص جذب و پراکندگی آن، زمان مرگ دستگاه، آستانه انرژی و کلیماتور بستگی دارد.

۴-۲-۲ هدف

هدف از این اندازه گیری تعیین تعداد رخدادهایی است که در هر واحد فعالیت، برای چشمه ای با حجم استاندارد، با ابعاد تعیین شده و کلیماتور مشخص آشکار می‌شود.

۴-۲-۳ روش

برای آزمون حساسیت سیستم، یک چشمه رادیو اکتیو دارای مقدار معین فعالیت ،در میدان دید آشکار ساز دوربین گاما قرار گرفته و سپس نرخ شمارش بدست آمده مورد ملاحظه قرار میگیرد. از مقادیر بدست آمده،

حساسیت سیستم محاسبه می‌شود. این آزمون به شدت به درستی رادیو اکتیویته اندازه‌گیری شده در یک کالیبره کننده دز و یا یک شمارنده وابسته است. دستیابی به تنظیمات با صحت و درستی بهتر از ۱۰% ± با چنین وسایلی کار دشواری است. اگردرستی بیشتری مورد نیاز باشد در این صورت رادیونوکلوئیدهای مناسب دارای استانداردهای مرجع مطلق مورد نیاز خواهد بود.

۴-۲-۴ رادیونوکلوئید

رادیونوکلوئیدی که برای این اندازه گیری‌ها به کار می‌رود باید مناسب با طراحی کولیماتور بوده و از جدول یک انتخاب شده باشد.

۴-۲-۵ منبع رادیواکتیو

فانتوم استوانه‌ای شکل از جنس پلی متیل متاکریلات مشخص شده درشکل ۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد. ظرف لوله‌ای نشان داده شده در شکل ۱ باید توسط اکتیویته پر شود و سپس در حفره استوانه‌ای شکل با ابعاد نشان داده شده در شکل ۲ قرار گیرد. سپس فضاهای خالی مانده توسط قطعات استوانه‌ای شکل (اینسرت) پر می‌شود؛ مطابق شکل ۲. فانتوم حاوی چشمه باید بر روی سطح جلویی کولیماتور (فاصله d=0) طوری قرار بگیرد که مرکز آن بر محور کولیماتور منطبق شود.

یادآوری- علاوه بر این اندازه گیری، می توان حساسیت سیستم بدون پراکندگی را با استفاده از چشمه کووتی (لوله‌ای) شکل ۱ که در فاصله 10 سانتیمتری از سطح جلویی کولیماتور قرار گرفته باشد، اندازه گیری کرد.

۴-۲-۶ جمع آوری اطلاعات

با تنظیم پنجرهٔ انرژی مطابق جدول ۱، حداقل ۲۰۰۰۰شمارش باید جمع آوری شده و زمان جمع آوری اطلاعات برای محاسبه نرخ شمارش C_s برای همه رویدادها جمع آوری شده در تصویرباید ثبت شود.

۴-۲-۷ پردازش اطلاعات تصویر

اکتیویته فانتوم به دلیل واپاشی، در زمان اندازه گیری تغییر می کند وباید اصلاح شود. تعیین اکتیویته متوسط A_{ave} در بازهٔ زمانی جمع آوری اطلاعات T_{acq} توسط معادله زیر انجام می گیرد:

$$A_{ave} = \frac{A_{cal}}{\ln 2}\frac{T_{1/2}}{T_{acq}} exp\left[\frac{T_{cal} - T_0}{T_{1/2}}\ln 2\right]\left[1-\exp\left(-\frac{T_{acq}}{T_{1/2}}\ln 2\right)\right]$$

که در این معادله

A_{cal} : اکتیویته اندازه گیری شده در زمان اندازه گیری

T_0 : زمان شروع جمع آوری

$T_{1/2}$: نیمه عمر رادیو نوکلوئید می باشند.

حساسیت سیستم؛ S برای کلیماتور مورد استفاده به صورت زیر است:

$$S = \frac{C_s}{A_{ave}}$$

که بر حسب شمارش بر ثانیه بر مگابکرل بیان می شود.

۴-۲-۸ گزارش

حساسیت سیستم را همراه با کلیماتور و رایونوکلوئید استفاده شده، گزارش کنید.

۴-۳ قدرت تفکیک فضائی

۴-۳-۱ کلیات

اندازه گیری‌های قدرت تفکیک فضائی بخشی از قابلیت یک سیستم تصویربرداری برای باز تولید توزیع فضایی یک ردیاب (TRACER) درون یک شیء مربوط به تصویر را توضیح می‌دهد. اندازه گیری مربوط توسط به تصویر کشیدن چشمه های خطی در هوا، بدون استفاده از کلیماتور برای قدرت تفکیک فضائی ذاتی ، وبا استفاده از کلیماتور و مادهٔ پراکنده کننده برای قدرت تفکیک فضائی سیستمی انجام می‌شود. اندازه گیری قدرت تفکیک فضائی سیستمی با لحاظ نمودن پدیده پراکندگی تابش همانند موقعیت کلینیکی است که اندازه‌گیری بر روی بیمار انجام می گیرد، در حالی که قدرت تفکیک فضائی ذاتی نشان دهندهٔ کارایی سر آشکارساز بدون کلیماتور است.

۴-۳-۲ هدف

هدف از این اندازه گیری مشخص کردن توانایی دوربین برای تفکیک اشیاء کوچک از طریق تعیین ویژگی های تابع پهن شدگی خطی (LSF) برای چشمه های رادیو اکتیو خطی است که در جهت عمود بر محور کلیماتور و آشکارساز در یک فاصله مشخص بین کولیماتور و آشکار ساز قرار گرفته اند.

عرض تابع پهن شدگی خطی LSF توسط عرض تمام در نصف انرژی بیشینه و عرض معادل اندازه گیری می‌شود.

۴-۳-۳ روش

برای تمام سیستم‌ها، قدرت تفکیک فضائی باید در صفحه تصویری که موازی با سطح جلویی کولیماتور است اندازه گیری شود. ابعاد پیکسل‌ها در صفحه تصویر را میدان دید و اندازه ماتریس تعیین می‌کنند. به منظور دقت دراندازه گیری عرض FWHM, LSF آن باید حداقل در ده پیکسل تصویر آزمون قرار گیرد. عرض تابع پاسخ FWHM اگر در کمتر از ده پیکسل قرار گیرد، نتایج ممکن است نادرست باشد. بنابراین تا جای ممکن باید ابعاد پیکسل هانزدیک به یک دهم عرض FWHM مورد انتظار در نظر گرفته شده و همچنین بهتر است به عنوان داده های کمکی برای اندازه گیری تفکیک فضائی نشان داده شوند.

۴-۳-۴ رادیو نوکلوئید

برای اندازه گیری قدرت تفکیک فضائی سیستمی، رادیو نوکلوئید باید متناسب با کولیماتور مورد استفاده، از جدول ۱ انتخاب شده باشد. برای اندازه‌گیری قدرت تفکیک مکانی ذاتی باید از ^{99m}Tc استفاده شود.

۴-۳-۵ توزیع چشمه رادیواکتیو

برای اندازه گیری قدرت تفکیک فضائی سیستم باید یک چشمه خطی توسط قرار دادن یک محلول محتوی رادیو نوکلوئید در داخل یک لوله به قطر داخلی یک میلی متر آماده شود. این چشمه خطی، طول میدان دید آشکار ساز را در امتداد محور اصلی پوشش می دهد. برای اندازه گیری قدرت تفکیک فضائی ذاتی باید از یک فانتوم با چند روزنه عبور که در شکل ۴ نشان داده شده‌است، استفاده کرد. روزنه های عبور فانتوم باید تمام میدان دید را پوشش داده و در مرکز سطح آشکارساز قرار گیرد (کولیماتور برداشته شود). چشمه ی موازی

شده باید بصورت عمود بالای مرکز فانتوم حداقل در فاصله پنج برابر ماکزیمم ابعاد خطی میدان دید قرار گیرد.

۴-۳-۶ اندازه گیری قدرت تفکیک فضائی

۴-۳-۶-۱ قدرت تفکیک فضائی سیستم (با پراکندگی)

دوربین گاما در شرایط بررسی و مطالعه باید به کولیماتور مجهز شده باشد. چشمه خطی باید به گونه‌ای قرار گیرد که محور آن عمود بر محور کولیماتور باشد و همچنین باید بایکی از محورهای الکترونیکی ؟؟در عمق آب یا مادهٔ معادل آب که تمام میدان دید را پوشش می دهد موازی باشد. فاصله هوایی بین سطح جلویی کولیماتور و سطح مادهٔ پراکننده باید کمتر از ۵ میلیمتر باشد. ضخامت مادهٔ پراکننده در امتداد محور کولیماتور در مجموع باید ۲۰۰ میلیمتر باشد. اندازه گیری باید در سه صفحه موازی با مرکز چشمه در فاصله ۵۰ میلیمتر، ۱۰۰ میلیمتر و ۱۵۰ میلیمتر از سطح جلویی کولیماتور انجام شود. اندازه گیری باید با چشمه موازی شده بامحور الکترونیکی دیگرنیز تکرار شود. اطلاعات باید توسط پیکسل‌هایی که سایز آنها مساوی یا کمتر از ٪۱۰ FWHM درعمق اندازه‌گیری است جمع آوری شوند. حداقل باید ۱۰۰۰۰ شمارش در نقطه پیک هر تابع LSF جمع‌آوری شود.

۴-۳-۶-۲ قدرت تفکیک فضائی ذاتی

کلیماتور باید برداشته شده و فانتوم شکاف دار باید روی دوربین گاما قرار گیرد. جهت گیری فانتوم شکاف دارباید به گونه‌ای تنظیم گردد که محور شکاف با مدار الکترونیکی x یا y بصورت موازی قرار گیرد. دو مجموعه از داده ها باید جمع آوری شوند. حداقل ۱۰۰۰۰ شمارش باید در نقطه پیک هر LSF جمع آوری شود.

۴-۳-۷ پرادزش داده ها

۴-۳-۷-۱ پردازش داده ها برای قدرت تفکیک فضائی سیستم

منحنی های قدرت تفکیک فضائی سیستم با پهنای ۵ ±۳۰ میلیمتر با زوایه قائمه نسبت به محور تابش چشمه خطی باید بدست آیند. منحنی ها باید تا نقطه ای که مقدار اندازه‌گیری شده در آن برابر٪۵ مقدار بیشینه است یا تا لبه‌های میدان دید آشکارساز، هر کدام که مقدار اندازه گیری شده آن کمتر است، ادامه پیدا کند. این منحنی‌ها باید پیوسته و به دنبال هم باشند.

۴-۳-۷-۲ پردازش داده‌ها برای قدرت تفکیک فضائی ذاتی

برای قدرت تفکیک فضائی ذاتی باید منحنی‌هائی با پهنای ۵ ±۳۰ میلیمتر بازوایای قائمه نسبت به جهت روزنه بدست آیند. این منحنی‌ها باید پیوسته و به دنبال هم باشند.

۴-۳-۸ آنالیز داده ها

پهنای تمام نصف بیشینه FWHM باید توسط درون یابی خطی بین پیکسل‌های نصف مقدار بیشینه که در واقع همان پیک تابع پاسخ است (شکل ۷ را ملاحظه کنید) تعیین می شود . این مقادیر (FWHM) باید باضرب کردن ابعاد پیکسل، به واحد میلیمتر تبدیل شوند. پهنای معادل (EW) باید از تابع پاسخ متناظر اندازه‌گیری شود. EW از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$EW = \sum_i \frac{C_i \times PW}{C_m}$$

که در این معادله:

$\sum_i C_i$: مجموع شمارش‌ها در منحنی بین حدود تعریف شده $\frac{1}{20} C_m$ در دو پیک

C_m : مقدار بیشینه پیکسل

PW : پهنای پیکسل بر حسب میلیمتر است(شکل ۸را ببینید)

۴-۳-۹ قدرت تفکیک فضائی سیستم

از اندازه‌گیری LSF (مطابق با زیربند ۴-۳-۶-۱) داده های زیر باید بدست آید:

الف- MTF محاسبه شده که به صورت مجموعه‌ای از منحنی های با مقیاس خطی برای مرکزی ترین منحنی، نمایش داده میشود.

ب- FWHM و EW برای هر LSF . سپس برای هر فاصله چشمه تا کولیماتور، شاخص‌های اندازه‌گیری شده باید به طور جداگانه در جهت X و Y متوسط‌گیری شوند. در نهایت شاخص‌های X و Y باید متوسط‌گیری شوند تا مشخصات (ویژگی‌های)قدرت تفکیک فضائی به دست آید.

۴-۳-۱۰ قدرت تفکیک فضائی ذاتی

از LSF محاسبه شده FWHM (مطابق با زیربند ۴-۳-۶-۲)، EW باید مطابق توضیحا ت بخش ۴-۳-۹ ، محاسبه شود.

۴-۳-۱۱ گزارش

برای هر کلیماتور، قدرت تفکیک فضائی سیستم شامل پراکندگی که به صورت FWHM و FWTM و EW بیان می‌شود باید به صورت تابعی از فاصله چشمه تا کولیماتور، طبق بند فرعی ۴-۳-۶-۱ گزارش داده شود. به علاوه منحنیهای MTF نیز باید ارائه شوند. قدرت تفکیک فضائی ذاتی بیان شده به صورت FWHM و EW طبق بند فرعی ۴-۳-۶-۲ باید گزارش داده شوند.

۴-۴ غیر خطی بودن فضائی

۴-۴-۱ اندازه گیری غیر خطی بودن فضائی ذاتی

از داده های جمع آوری شده در اندازه‌گیری قدرت تفکیک فضائی ذاتی ۴-۳-۶-۲مشخصات غیر خطی زیر باید استخراج شود.

۴-۴-۲ غیر خطی بودن دیفرانسیلی

از هر دو مجموعه داده‌ها، تحت زاویه قائمه نسبت به محور روزنه که بیشتر از ۳۰ میلیمتر در جهت محور روزنه گسترش نمی یابند باید برشهائی ایجاد تا پروفایل مربوط بدست آید. این برش‌ها باید خیلی به هم نزدیک باشند (برهم مماس باشند) . مکان هر پیک در هر برش باید از متوسط مقدار نصف ارتفاع درون‌یابی شده و محاسبه شده برای هر پیک تعیین شود (شکل ۷). در هر برش فاصله مکانی بین پیک های مجاور

باید بدست آیند . غیر خطی بودن دیفرانسیلی برای میدان دید آشکار ساز، به صورت انحراف معیار همه فواصل اندازه‌گیری شده بدست آمده از دو مجموعه اطلاعات (جهت Xو Y) باید گزارش شود.

۴-۴-۳ غیر خطی بودن مطلق

غیر خطی بودن مطلق باید توسط جا گذاری کوچکترین مربع های ممکن بصورت متناوب بین خطوط موازی ، برای هر دو مجموعه از داده‌ها به طور جداگانه محاسبه شود (جهت‌های X و Y). غیر خطی بودن مطلق باید به صورت بیشترین مقدار جابجایی خطوط مشاهده شده و جا گذاری شده در میدان دید آشکارساز ودر جهت X یا Y بر حسب میلیمتر گزارش داده شود.

۴-۵ پاسخ غیر یکنواخت

۴-۵-۱ کلیات

اندازه‌گیری های مربوط به پاسخ غیر یکنواخت ، بخشی از قابلیت یک سیستم تصویر برداری برای باز تولید توزیع مکانی یک ردیاب در یک شیء داخل تصویر را بیان می کند.به ویژه قابلیت سیستم را برای باز تولید یک شیءدارای حساسیت موضعی که در تمام میدان دید آشکار ساز ثابت بوده و متناسب با اکتیویته است را توضیح می‌دهد. اندازه‌گیری توسط تصویر برداری از یک شار یکنواخت تابیده به دوربین گاما، در هوا و بدون کولیماتور (پاسخ غیریکنواخت ذاتی) و در حضور مادهٔ پراکننده و کلیماتور (پاسخ غیر یکنواخت سیستمیک) متناظراً انجام می شود. اندازه گیری پاسخ غیر یکنواخت سیستمی با پراکندگی بیانگر موقعیت‌های کلینیکی واندازه‌گیری بر روی بیمار میباشد، در حالی که پاسخ غیر یکنواخت ذاتی کارایی سر آشکارساز را صرف نظر از کولیماتور و تأثیر پراکندگی مشخص می‌کند.

۴-۵-۲ هدف

هدف از این اندازه‌گیری مشخص کردن توانایی دوربین برای تولید سیگنال ورودی یکنواخت بدون تغییرات موضعی در چگالی شمارش می باشد، که این کار با توصیف یکنواختی تصویر مربوط به یک شار یکنواخت فوتون با تعیین بیشینه انحرافات از چگالی شمارش میانگین، بصورت موضعی (غیر یکنواختی دیفرانسیلی) و برای تمام میدان دید آشکار ساز (غیر یکنواختی انتگرالی) امکانپذیر می باشد. همچنین تعیین هیستوگرام سه کلاس انحراف پیکسلی (توزیع غیر یکنواخت)نیز مد نظر است.

۴-۵-۳ رادیو نوکلئید

برای اندازه‌گیری پاسخ غیر یکنواخت سیستمی ، رادیونوکلوئید باید از جدول ۱ و مطابق با کولیماتور استفاده شده انتخاب شود. برای اندازه‌گیری پاسخ غیر یکنواخت ذاتی رادیو نوکلوئید باید $^{99\text{-m}}\text{Tc}$ باشد.

۴-۵-۴ اندازه‌گیری پاسخ یکنواخت ذاتی

نگهدارنده چشمه و خود چشمه باید همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده، وضعیت داده شوند. نواحی خارج از میدان دید آشکار ساز باید توسط سرب حفاظ گذاری شود. پیکسل ها باید مربع شکل باشند). طول ضلع پیکسل باید کوچکتر یا مساوی دو برابر قدرت تفکیک فضائی ذاتی محاسبه شده بر حسب FWHM باشد. تعداد متوسط شمارش‌ها به ازای یک پیکسل باید بزرگتر از ۱۰۰۰۰ باشد.

۴-۵-۵ اندازه‌گیری پاسخ غیر یکنواخت سیستم

اندازه گیری باید با استفاده از یک کلیماتور سوراخ- موازی متناسب با رادیونوکلوئید مورد استفاده انجام شود. چشمه نشان داده شده در شکل ۳ با رادیو نوکلوئید انتخاب شده از جدول ۱، باید تا حد ممکن نزدیک سطح جلویی کلیماتور قرار گیرند. شار فوتونی که به سطح جلویی کلیماتور می‌رسد باید با دقت ٪۱± در تمام ناحیه‌های با مساحت یک سانتی متر مربع یکنواخت باشد.

پیکسل‌ها باید مربع شکل باشند. طول ضلع پیکسل باید کوچکتر یا مساوری قدرت تفکیک فضائی اندازه گیری شده بر حسب FWHM در فاصله ۵۰ میلیمتر از سطح جلویی کلیماتور باشد. تعداد متوسط شمارش‌ها به ازائ هر پیکسل باید بزرگتر از ۱۰۰۰۰و پایدار باشد.

یادآوری- برای کلیماتور سوراخ موازی انرژی پایین، چگالی شمارش شده باید $20000\ counts/cm^2$ یا بیشترباشد.

۴-۵-۶ آنالیز داده‌ها

۴-۵-۶-۱ پیش پردازش

قبل از ارزیابی اندازه گیری‌های شرح داده شده در زیربندهای ۴-۵-۴ و ۴-۵-۵ ، تعداد میانگین شمارش‌هابه ازائ هر پیکسل باید در یک ناحیه مربع شکل به اضلاع ٪۷۵ کوچکترین اندازه میدان دید آشکار ساز تعیین شود. سپس انتخاب پیکسل‌های مرتبط با آنالیز باید به صورت زیر صورت گیرد:

اولاً تمام پیکسل‌های قرار گرفته در لبه میدان دید که دارای کمتر از ٪۷۵ تعداد میانگین شمارش باشند بایستی صفر شوند.

ثانیاً پیکسل های نزدیک به پیکسل های لبه میدان (۴ پیکسل مجاور) در همسایگی پیکسل صفر بایستی از آنالیز حذف و مقدار صفر برای آن ها منظور شود. داده‌های باقیمانده (یعنی پیکسل‌های غیر صفر) بدست آمده از تصویر شار یکنواخت باید یک بار با فیلتر ۹ نقطه‌ای با وزن‌های زیر فیلتر شوند:

$$\begin{matrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{matrix}$$

چنانچه فرآیند فیلتر کردن با پیکسل‌های با شمارش صفر انجام پذیرد، دراین صورت ضرائب نرمالیزه کردن باید تنظیم شود.

۴-۵-۶-۲ توزیع غیر یکنواخت

توزیع غیر یکنواخت در میدان دید آشکار ساز باید از طریق زیر ارزیابی شود:

الف- تعداد پیکسل هایی که در آنها تعداد شمارش ها، ۱۰درصد یا بیشتر نسبت به شمارش میانگین انحراف دیده شود، بایستی تعیین گردیده و به صورت درصد تعداد کل پیکسل‌های غیر صفر بیان شوند.

ب- تعداد پیکسل‌هایی که برای آنها تعداد شمارش‌ها، بین ۵ درصد تا ۱۰ درصد نسبت به شمارش میانگین انحراف دیده شود ، باید تعیین شده و به صورت درصد کل تعداد پیکسل‌های غیر صفر بیان شوند.

پ- تعداد پیکسل‌هایی که برای آنها تعداد شمارش‌ها، بین ۲/۵ درصد تا ۵ درصد نسبت به شمارش میانگین تفاوت دیده شود ، باید تعیین شده وبه صورت در صد تعداد کل پیکسل‌های غیر صفر بیان شوند.

۴-۵-۶-۳ غیر یکنواختی انتگرالی

بیشترین و کمترین مقدار همه پیکسل‌های غیر صفر باید تعیین شوند. از این داده‌ها، با استفاده از معادله زیر باید غیر یکنواختی انتگرالی محاسبه شود:

$$\text{غیر یکنواختی انتگرالی} = \pm \frac{Max.value - Min.value}{Max.value + Min.value} \times 100\%$$

۴-۶-۵-۴ غیر یکنواختی دیفرانسیلی

تصویر مربوط به یک شار یکنواخت از ذرات باید به صورت سطر و ستون‌های (خطوط) مجزا مورد ارزیابی قرار گیرد. برای هر خط افقی (درجهت x) باید از یک انتها با بررسی مجموعه های متشکل از پنج پیکسل شامل اولین پیکسل آغاز، و پیکسل‌های با بیشترین و کمترین میزان شمارش ثبت شود. غیر یکنواختی دیفرانسیلی با استفاده ا ز معادله زیر محاسبه می شود:

$$\text{غیر یکنواختی دیفرانسیلی} = \pm \frac{Max.value - Min.value}{Max.value + Min.value} \times 100\%$$

این فرآیند یک پیکسل به سمت جلو برده می‌شود و مجموعه پنج پیکسلی بعد بررسی می‌شود و غیر یکنواختی محاسبه می‌شود. این فرآیند تا زمانی که آخرین پیکسل رانیز شامل شود ادامه می‌یابد. سپس تمام خطوط افقی دیگر نیز به همین روش پردازش می‌شوند و غیر یکنواختی دیفرانسیلی به صورت مقدار بیشینه مطلق بیان می‌شود. این فرآیند برای خطوط عمودی (درجهت Y) نیز به طور جداگانه تکرار می‌شود. سپس میانگین مقادیر در جهت X و Y گزارش داده می‌شود.

۴-۵-۷ گزارش

برای هر کلیماتور، پاسخ غیر یکنواخت سیستمی باید بر حسب توزیع غیر یکنواخت (۴-۵-۶-۲) ، غیر یکنواختی انتگرالی و غیر یکنواختی دیفرانسیلی گزارش شود. طول ضلع پیکسل به کار رفته برای آنالیز نیز باید بیان شود.

۴-۶ قدرت تفکیک انرژی ذاتی

نگهدارنده چشمه و چشمه باید در موقعیت نشان داده شده در شکل ۵ قرار گیرند. چشمه باید $^{99\text{-m}}\text{Tc}$ باشد. نرخ شمارش بیشتر از میزان نویزالکتریکی نباید از ۲۰۰۰۰ شمارش در ثانیه تجاوز کند. طیف ارتفاع پالس باید توسط کانال‌هایی با پهنای باند کوچکتر یا مساوی ۵ درصدFWHM فوتوپیک مورد انتظار بدست آید. تعداد شمارش در پیک کانال باید از ۱۰۰۰۰بزرگتر باشد. شمارهٔ کانال باید بر حسب انرژی توسط کالیبره کردن طیف به وسیله یک رادیونوکلوئید دیگر بیان شود. تفکیک انرژی ذاتی به صورت FWHM پیک جذب تمام انرژی و به صورت در صد در این انرژی بیان می‌شود.

۴-۷ ثبت فضائی چند پنجره ذاتی

۴-۷-۱ کلیات

ثبت فضائی چند پنجره عبارت است از اندازه‌گیری قابلیت دوربین برای تعیین دقیق موقعیت فوتون‌های با انرژی متفاوت، زمانی که از طریق پنجره‌هائی باانرژی متفاوت فوتوپیک تصویربرداری شده است. اندازه گیری باید در ۹ نقطه مشخص، روی صفحه ورودی دوربین جرقه زن انجام شود.

۴-۷-۲ شرایط آزمون

رادیو نوکلوئید مورد استفاده برای اندازه گیری ثبت فضائی چند پنجره، گالیم ۶۷ است. تنظیم پنجره انرژی برای سه پیک گالیم باید مطابق جدول ۱ انجام شود. نرخ شمارش نباید از ۱۰۰۰۰ شمارش در ثانیه برای هر پنجره انرژی فتوپیک تجاوز کند.

۴-۷-۳ تجهیزات آزمون

از یک نگهدارنده خطی استوانه ایی شکل از جنس سرب که چشمه $Ga^{۶۷}$ در داخل آن قرار میگیرد برای موازی سازی استفاده می شود. این حفره باید دارای قطر ۵ میلیمتر و طول ۲۵ میلیمتر باشد. شکل ۶ نمودار چشمه $Ga^{۶۷}$ را در داخل چنین نگهدارنده‌ای نشان می‌دهد.

۴-۷-۴ فرآیند اندازه گیری

تصاویر با استفاده از چشمه $Ga^{۶۷}$ موازی شده که در بالا شرح داده شد و در ۹ نقطه مشخص روی سطح ورودی دوربین بدون کولیماتور قرار گرفته، بدست می‌آید. این ۹ نقطه عبارتند از نقطه مرکزی، چهار نقطه روی محور X و چهار نقطه روی محور Y . نقاط غیر مرکزی باید در ۰/۴ و ۰/۸ برابر فاصله نقطه مرکزی تا لبه میدان دید دوربین در امتداد محورهای متناظر قرار داده شوند. تصاویر جداگانه از چشمه $Ga^{۶۷}$ موازی شده از طریق پنجره‌های انرژی جداگانه فوتوپیک‌های $Ga^{۶۷}$ در هر کدام از موقعیت ها باید به دست آیند. این تصاویر باید توسط پیکسل‌هایی که از ۲/۵ میلیمتر بزرگتر نیستند، بدست آیند. برای دوربین‌های با دو پنجره انرژی، برای هر نقطه باید دو تصویر تهیه شود: اولی با استفاده از فوتوپیک keV ۹۳ و دومی با استفاده از فوتوپیک keV ۳۰۰ . برای دوربین‌های با سه یا تعداد بیشتری پنجرهٔ انرژی، فوتوپیک keV ۱۸۴ هم تصویر برداری می‌شود. حداقل ۱۰۰۰ شمارش باید در پیکسل فوتوپیک هر تصویر جمع آوری شود.

۴-۷-۵ محاسبات و آنالیز

مقدارانتقال مراکز شمارش از یکدیگر برای اندازه گیری فوتوپیک نقاط تصویر در امتدادهای X و Y ،باید تعیین شوند. برای آنالیز فوتوپیک تک تک تصاویر، یک ناحیه مربعی مورد نظر (ROI) ، که بر روی پیکسل دارای بیشینه شمارش مربوط به هر فوتوپیک تصویر تمرکز داده شده ، باید مورد استفاده قرار گیرد. ابعاد پیکسل ناحیه مربع شکل مورد نظر باید تقریباً چهار برابر FWHM مورد انتظار پروفایل شمارش تصویری باشد که قرار است مورد آنالیز قرار گیرد. هر تصویر در جهت Y برای تعیین پروفایل شمارش X باید انتگرال گیری شود و بالعکس هر تصویر در جهت X برای تعیین پروفایل شمارش Y باید انتگرال گیری شود. مرکز شمارش ها در جهت های X وY برای هر تصویر توسط روش شرح داده شده در زیر باید تعیین شوند. بیشترین تفاوت در موقعیت مکانی مرکز شمارش های جمع آوری شده از هر فوتوپیک باید تعیین شود. سپس بیشترین جابه جایی پیکسل باید به میلیمتر تبدیل شود. مرکز شمارش‌ها در جهت‌های X و Y برای

پروفایل های شمارش در هر فوتوپیک باید به صورت زیر تعیین گردد. ابتدا بیشینه شمارش پیکسل در پروفایل های کامل شده X وY را یافته و سپس مرکز شمارش‌ها را با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌کنیم:

$$L_j = \sum_{i=1}^{n}(X_i \times C_i) / \sum_{i=1}^{n} C_i$$

که در آن:

L_j : موقعیت محاسبه شدهٔ مرکز شمارش برای پنجره انرژی است. j می‌تواند برابر ۱و۲و۳ باشد.

X_i : پیکسل پروفایل شمارش X یا Y در موقعیت i ام است.

C_i : شمارش‌ها در موقعیت Y_iو X_i

$\sum_{i=1}^{n}$ جمع ۱ تا n ، که n تعداد پیکسل های پروفایل شمارش است که روی منحنی شمارش بیشینه تمرکز داده شده‌اند. عدد دقیق پیکسل‌ها به پهنای FWHM منحنی شمارش و همچنین سایز پیکسل بستگی دارد. کمترین تعداد پیکسل‌ها در این جمع باید هم شامل نصف چپ و هم شامل نصف راست بیشینه شمارش‌هاب‌شود. جابه جایی D_{ij} بین پنجره‌های انرژی i, j به صورت زیر است:

$$D_{ij} = |L_i - L_j|$$

که

$$i = 1,2,3$$
$$j = 1,2,3$$

بیشترین جابه‌جایی، همان بزرگترین مقدار D_{ij} است.

۴-۷-۶ گزارش

ثبت فضائی چند پنجره باید به صورت بیشینه اختلاف در موقعیت‌های مکانی برای پنجره‌های انرژی مختلف در هر دو جهت X و Y از مراکز شمارش فوتوپیک برای ۹ نقطه اندازه‌گیری شده گزارش شود. این مقادیر باید بر حسب میلیمتر گزارش شوند.

۴-۸ ویژگی نرخ شمارش

۴-۸-۱ کلیات

عمل کرد نرخ شمارش، هم به توزیع فضایی فعالیت چشمه و هم به مواد پراکننده بستگی دارد. ویژگی نرخ شمارش به شدت وابسته به تنظیم شرایط اندازه گیری است و بنابراین این شرایط باید شبیه به شرایط عکس برداری کلینیکی باشد.

۴-۸-۲ هدف

فرآیند شرح داده شده در این بخش برای ارزیابی انحراف از رابطه خطی بین نرخ شمارش و اندازه فعالیت به دلیل از دست رفتن شمارش‌ها، و نیزارزیابی اعوجاجات تصویر در نرخ‌های بالای شمارش ، به خصوص آنهایی که منجر به انحراف مکانی ناشی از پدیده رویهم افتادگی می شوند، انجام می پذیرد.

عملکرد نرخ شمارش موارد زیر را شامل می شود:

الف- رابطه بین شمارش‌های ثبت شده و فعالیت یعنی نرخ شمارش ویژه
ب- کنترل خطای مکانی ناشی از پدیده رویهم افتادگی

۴-۸-۳ روش

هیچ اصلاحی برای شمارش‌های از دست رفته و پراکندگی بکار نمی رود. عموماً فعالیت باید به صورت کل مقدار فعالیت در داخل فانتوم مشخص شود. تغییرات فعالیت، طبیعتاً توسط واپاشی رادیواکتیو بدست می‌آید.

۴-۸-۴ رادیونوکلوئید

رادیونوکلوئید مورد استفاده برای اندازه‌گیری باید ^{99-m}Tc باشد.

۴-۸-۵ توزیع چشمه رادیو اکتیو

فانتوم استوانه‌ای توضیح داده شده در زیربند ۴-۲-۵ و شکل۲، باید استفاده شود. فاصله هوایی d بین سطح فانتوم و سطح جلویی کولیماتور نباید بیشتر از ۲۰ میلیمتر باشد.

۴-۸-۶ جمع آوری اطلاعات و آنالیز

هر شمارش اندازه‌گیری شده بایستی فقط یک بار به حساب آید.

نرخ شمارش ویژه (نرخ شمارش اندازه‌گیری شده به ازای فعالیت یابه ازای نرخ شمارش تابش) باید اندازه گیری شود. تغییرات فعالیت توسط واپاشی رادیو اکتیو با اندازه گیری‌های پیوسته، تقریباً در ده نیمه عمر صورت می‌گیرد. زمان هر مقطع باید کمتر از نصف نیمه عمر باشد به استثنای سه مقطع آخر که می‌تواند طولانی‌تر باشد. مقدار فعالیت اولیه باید به گونه‌ای انتخاب شود که بیشتر از نرخ شمارش اشباع شود و آخرین فریم باید با شمارش از دست رفته کمتر از ۱٪ بدست آید.

برای کنترل خطاهای ناشی از رویهم افتادگی، تصاویر چشمه همراه با پروفایل مربوط به مرکز چشمه در جهت X و Y باید جمع آوری شوند:

یک جفت از پروفایل ها در شمارش اندازه گیری شده حدود ۵۰۰۰ counts/s ، یک جفت در شمارش اندازه‌گیری شده حدود ۲۰۰۰۰ counts/s و یک جفت در بیشینه شمارش اندازه‌گیری شده.

میانگین اکتیویته متوسط $A_{ave,i}$ در بازهٔ جمع‌آوری اطلاعات برای محدودهٔ زمانی i، $T_{acq,i}$ ،توسط معادله زیر تعیین می‌گردد:

$$A_{ave,i} = A_{cal}\frac{1}{\ln 2}\frac{T_{1/2}}{T_{acq,i}}\ exp\left[\frac{T_{cal}-T_{0,i}}{T_{1/2}}\ln 2\right]\left[1-exp\left(-\frac{T_{acq,i}}{T_{1/2}}\ln 2\right)\right]$$

که در آن:

A_{cal} : فعالیت اندازه گیری شده در زمان T_{cal} ؛

$T_{0,i}$: زمان شروع جمع آوری در مقطع زمانی i ؛

$T_{1/2}$: نیمه عمر رادیو ایزوتوپ مورد استفاده می باشد.

از اندازه گیری‌های بالا، می توان منحنی نرخ شمارش را رسم کرد (نرخ شمارش اندازه‌گیری شده به ازای فعالیت).

ضریب تبدیل بین فعالیت و نرخ شمارش بدون شمارش ازدست رفته باید از میانگین سه محدوده با کمترین فعالیت بدست آید. باید دقت کرد که در این محدوده‌ها شمارش کافی بدست آوریم تا از دقت آماری خوبی برخوردار شویم. شمارش اندازه‌گیر شده که ٪۸۰ شمارش واقعی است باید از روی شکل خوانده شده و بیان شود.

۴-۸-۷ گزارش

پروفایلِ نشان دهندهٔ نرخ شمارش و سطح فعالیت را در اتلاف شمارش ۲۰ درصد گزارش کنید.

پروفایل مرکز چشمه درجهت X و Y ، یک جفت از منحنی‌ها در شمارش اندازه‌گیری شده حدودً counts/s ۵۰۰۰ ، یک جفت در شمارش اندازه‌گیری شده حدود counts/s ۲۰۰۰۰ و یک جفت در بیشینه شمارش اندازه‌گیری شده را گزارش کنید.

۴-۹ آزمون نشت از حفاظ

یک چشمه کوچک، که در شکل ۶ توضیح داده شده است با d که بیشتر از ۲۰ میلیمتر و t که کمتر از ۱۰ میلیمتر نباشد و با یک رادیو نوکلوئید انتخاب شده از جدول یک پر شده، باید در تماس با سطح خارجی حفاظ آشکارساز در موقعیت‌های مختلف قرار گیرد. شمارش انجام شده بوسیله آشکارساز (مقدار نشتی) باید اندازه‌گیری شده و به صورت درصد نرخ شمارش بدست آمده زمانی که چشمه روی محور کلیماتور و در فاصله ۱۰۰ میلیمتری از سطح جلویی کولیماتور قرار گرفته است، نشان داده شود. بیشترین مقادیر نشت در پشت و کنار حفاظ آشکارساز باید اندازه گیری و بیان شود. بیشترین مقدار نشت در اتصالات حفاظ به خصوص اتصال بین کلیماتور و حفاظ آشکارساز باید معین شود. کلیماتور مورد استفاده باید برای انرژی چشمه مناسب باشد. رادیو نوکلوئید و کلیماتور مورد استفاده باید ذکر شوند.

برای هر کلیماتور مقادیر برای keV ۱۴۱ نیز باید تعیین شود.

۵ مدارک همراه

با هر دوربین گاما مدارکی حاوی اطلاعات زیر باید وجود داشته باشد:

الف- کلیماتورها:

- محدوده انرژی فوتون
- نوع (سوراخ موازی –تک سوراخ ، واگراکننده، همگراکننده، شکافی و غیره)
- نوع ساخت (مثلا ورقه ورقه یا قالب گیری شده)
- تعداد، شکل و اندازهٔ سوراخ ها
- کمترین ضخامت دیواره کلیماتور
- ضخامت کلیماتور

ب- مقادیر نشت حفاظ همان طورکه در زیربند ۴-۹ آمده است.

پ- پیش تنظیم دامنه پالس پنجره‌های تحلیل گر

ت- قدرت تفکیک انرژی ذاتی همان طور که شرح آن در زیربند ۶-۴ برای رادیونوکلوئید انتخاب شده آمده است.

ث- برای هر کلیماتور کمیتهای زیر باید داده شود:

- حساسیت_سیستمی و رادیو نوکلوئید مورد استفاده

- FWTM, FWHM, EW به صورت تابعی از عمق همان طور که در زیربندهای ۴-۳-۸ و ۴-۳-۹ آمده است.

- MTF بصورت تابعی ازعمق همان طور که در زیربند ۴-۳-۹ آمده است.

ج- نرخ شمارش طبق زیربند ۴-۸

چ- نرخ شمارش مشاهده شده که متناظر ٪۸۰ نرخ شمارش واقعی است.

ح- ابعاد میدان دید آشکار ساز طبق زیربند ۳-۲

خ- ویژگی های غیر یکنواختی با رادیو نوکلوئید انتخاب شده به شرح زیر:

- توزیع غیریکنواختی طبق زیربند ۴-۵-۶-۲

- غیر یکنواختی انتگرالی طبق زیربند ۴-۵-۶-۳

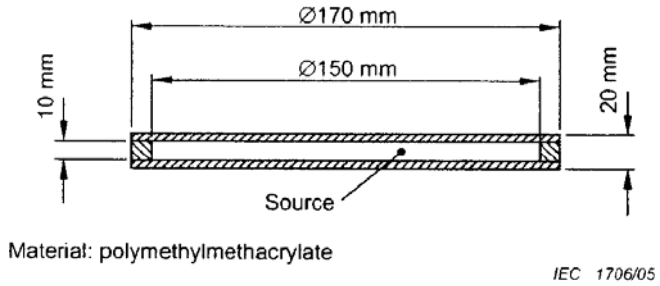
- غیر یکنواختی دیفرانسیلی طبق زیربند ۴-۵-۶-۴

اگر دستگاهی برای تصحیح یکنواختی، امکانات دیگری غیر از آنها که مبتنی بر تصحیحات طیفی و مکانی(مثلا تصحیح میدان شارش)می باشد،را در اختیار می گذارد، نتایج باید همراه با این امکانات و بدون آنها ارائه شوند.

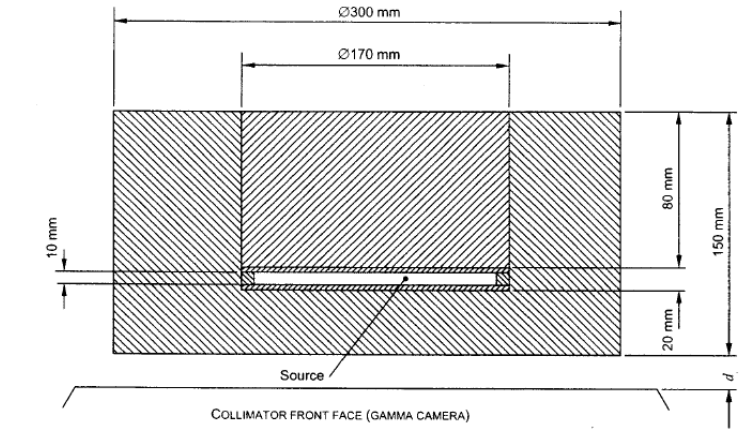
د- EW و FWHM ذاتی سر آشکارساز بدون کلیماتور طبق زیربند ۴-۳-۶-۲ و ۴-۳-۷-۲

ذ- غیر خطی بودن فضائی ذاتی طبق زیربند ۴-۴

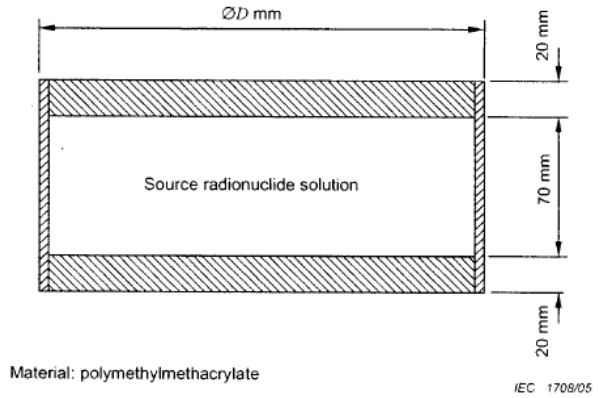
ر- ثبت فضائی چند پنجره‌ای ذاتی طبق زیربند ۴-۷



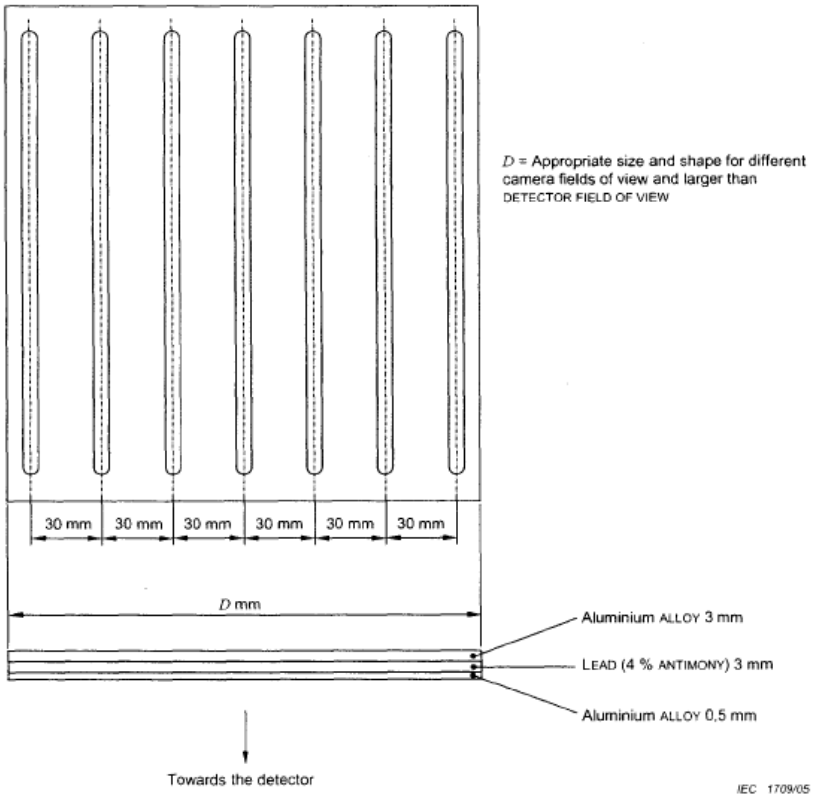
شکل ۱- کاویته



شکل ۲- فانتوم استوانه ای شکل



شکل ۳- چشمه یکنواخت

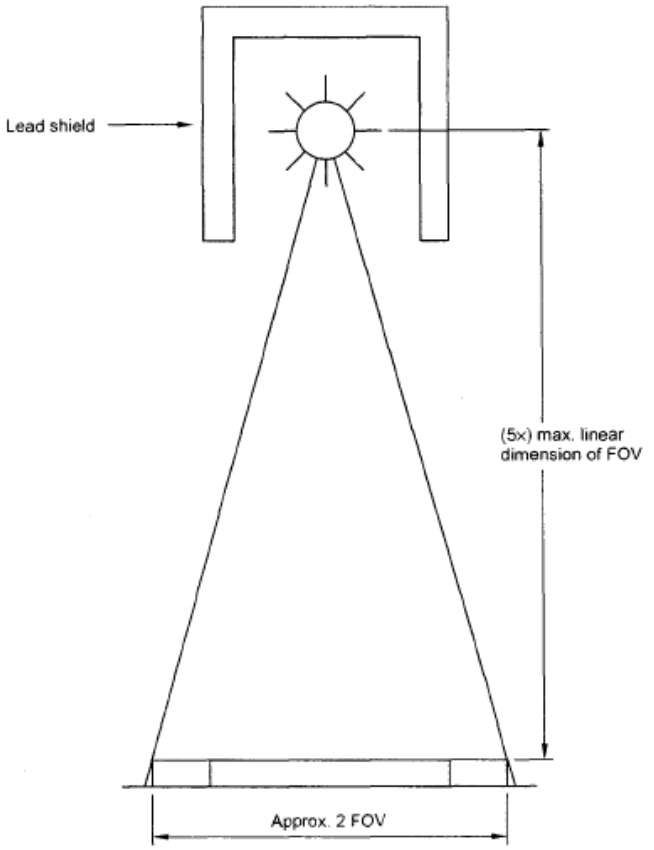


یادآوری۱- عرض روزنه ۰/۰۵±۱ میلیمتر

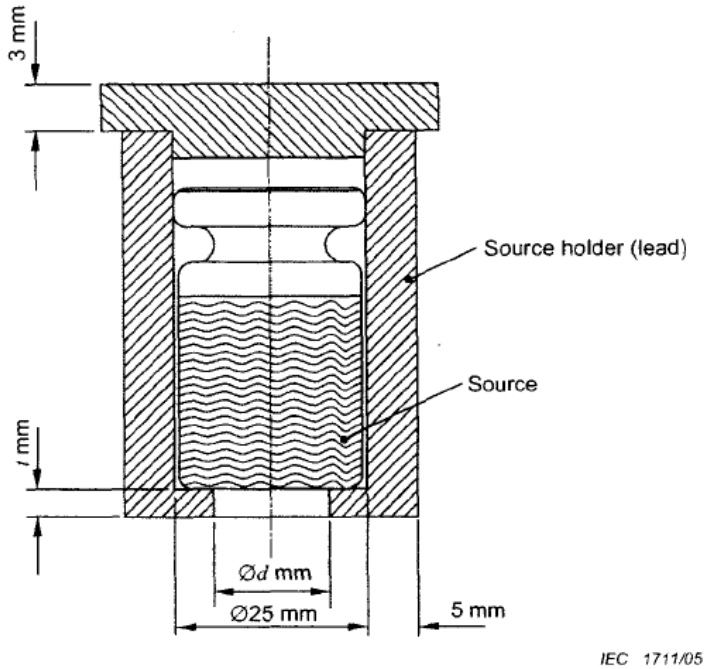
یادآوری۲- راستی روزنه۰/۰۵ ± میلیمتر در هر ۳۰ میلیمتر طول

یادآوری۳- فاصله مراکز روزنه ۰/۰۵±۳۰ میلیمتر

شکل ۴- فانتوم شکاف دار برای اندازه گیری قدرت تفکیک ذاتی و غیر خطی بودن فضائی



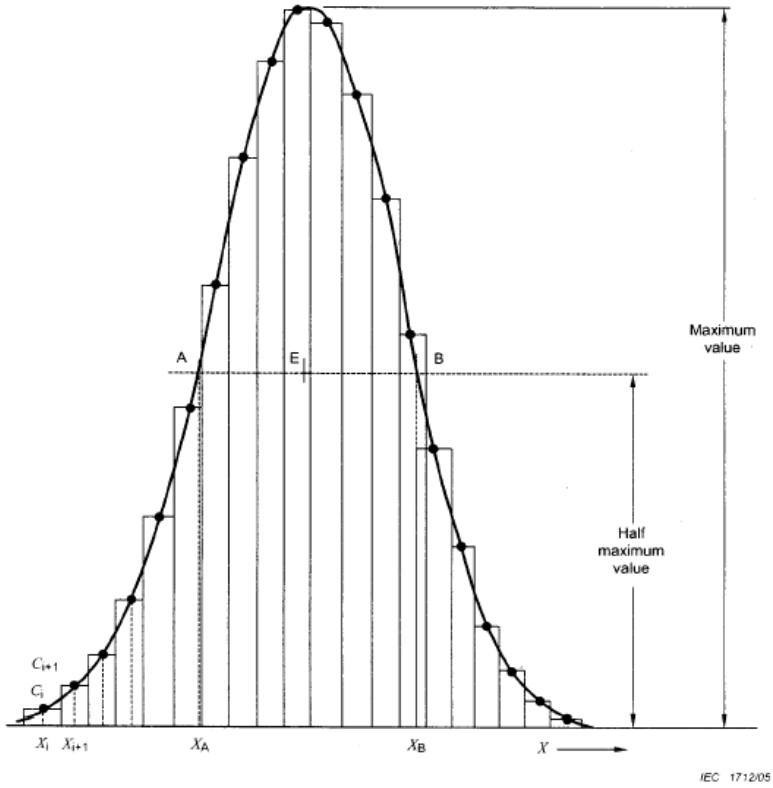
شکل ۵ - نحوه استقرار چشمه برای اندازه گیری ذاتی (۴-۳-۵ ، ۴-۴-۱، ۴-۵-۴ و ۴-۶)



NOTE 1 Drawing not to scale.

NOTE 2 See 4.7.3 and 4.9 for recommended values for *d* and *t*.

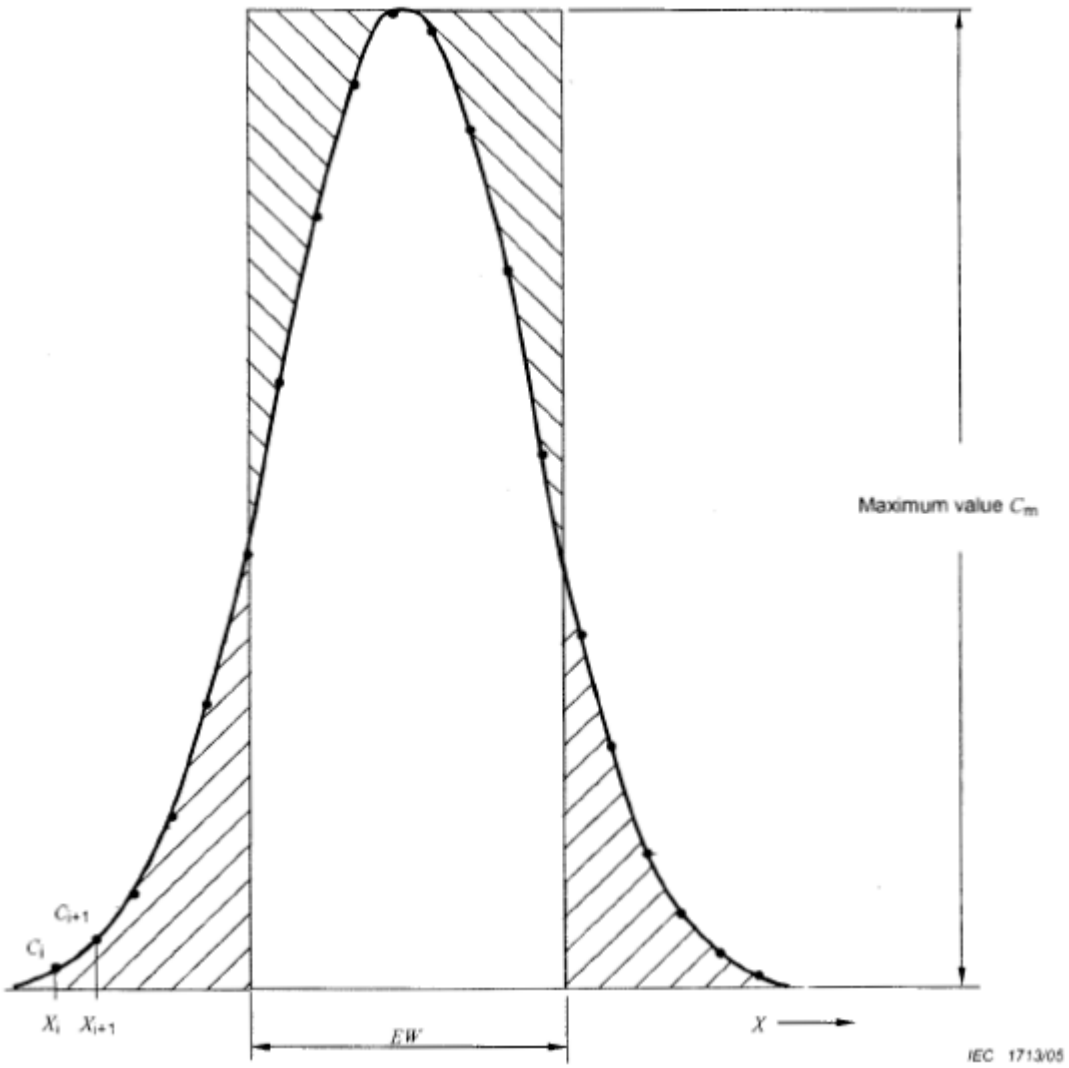
شکل ۶- چشمه مایع کوچک با حفاظ



A and B are the points where the interpolated curve cuts the line of half maximum value.

FWHM = X_B - X_A

شکل ۷- اندازه گیری FWHM



یادآوری- EW همان عرض مستطیلی که مساحت آن با تابع LSF برابر و ماکزیمم مقدار آن C_m است.

$$EW = \sum (C_i \times PW)/C_m$$

The PIXEL width PW is $x_{i+1} - x_i$.

The areas shaded differently are equal.

شکل ۸- ارزیابی پهنای معادل (EW)

کتابنامه

IEC 60601-1: 1988, Medical electrical equipment – Part 1: General requirements for safety

IEC 61675-1: 1998, Radionuclide Imaging devices – characteristics and test conditions – Part1: Positron emission tomography

IEC 61675-2: 1998, Radionuclide Imaging devices – characteristics and test conditions – Part2: Positron emission tomography

IEC 61948-2:2001, Nuclear medicine instrumentation – Routine tests – Part2: Scintillation camera and single photon emission computed tomography imaging

NEMA NU 1:2001, Performance measurements of scintillation cameras