

بهینهسازی طول و جرم مخروط سایه به منظور تعیین سهم دُز پرتوهای پراکنده شده در آزمایشگاه کالیبراسیون میدان نوترون چشمهٔ Am/Be

غلامرضا رئیسعلی^{*۱،۲}، سعید حمیدی^۳، احسان حلاجفرد^۳، ارژنگ شاهور^۱، ناهید حاجیلو^۱ ۱- پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی، پژوهشگاه علوم و فنون هستهای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۶۹۹-۱۱۶۸۵، کرج – ایران ۲- پژوهشکده کاربرد پر توها، پژوهشگاه علوم و فنون هستهای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۲۵۹-۱۱۳۵۵، تهران – ایران ۳- گروه فیز یک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اراک، صندوق پستی: ۲۸۵- ایران

چکیدد: تکنیک مخروط سایه یکی از روشهای برآورد سهم پرتوهای پراکنده به هنگام کاربرد آشکارساز است که به منظور کالیبره کردن آشکارسازهای نوترون در آزمایشگاه کالیبراسیون میدان نوترون پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق، برای طراحی و ساخت یک مخروط سایه بهینه، ضریب تضعیف دژ معادل نوترون به ازای ضخامتهای مختلف آهن و پلیاتیلن در میدان چشمهٔ Man-Be طراحی و ساخت یک مخروط سایه بهینه، ضریب تضعیف دژ معادل نوترون به ازای ضخامتهای مختلف آهن و پلیاتیلن در میدان چشمهٔ Man-Be ^{۲۴۱}، با استفاده از کد MCNP حساب شده است؛ سپس با توجه به نتایج محاسبه، برای دستیابی به ضریب تضعیف مورد نیاز، ضخامت بهینه مخروط ۵۰ سانتی متر (شامل ۲۰ سانتی متر آهن و ۳۰ سانتی متر پلیاتیلن) تعیین شده است. در این حالت ضریب تضعیف نرخ دژ معادل نوترون در میدان نوترونی چشمه Man-Be^{۳۴۱} با حضور مخروط سایه، برابر ۲۰۰٬۰۳۵، است که با استفاده از این مخروط سهم نوترونهای پراکنده شده در پاسخ آشکارساز، بر اساس نتایج اندازه گیری و محاسبه با خطایی کمتر از ۵/۰ درصد در آزمایشگاه موردنظر قابل اندازه گیری است.

واژههای کلیدی: مخروط سایه، بهینهسازی، چشمهٔ نوترون Am/Be کالیبراسیون، روش مونت کارلو، ضریب تضعیف، پراکندگی

Optimization of Shadow Cone Length and Mass for Determining the Amount of Scattered Radiation Dose in the Calibration Laboratory of Am/Be Neutron Source

G. Raisali^{*1,2}, S. Hamidi³, E. Hallajfard³, A. Shahvar¹, N. Hajiloo¹ 1- Agricultural, Medical and Industrial Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 31485-498, Karaj – Iran 2- Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O. Box: 11365-3486, Tehran - Iran 3- Physics Department, Faculty of Sciences, University of Arak, P.O. Box: 879, Arak - Iran

Abstract: The shadow cone technique is one of the methods which is used for determining the contribution of scattered particles on the response of neutron detectors. This technique is used for neutron field calibration in Agriculture, Medicine and Industry Research School (AMIRS). In this investigation, we have designed and constructed an optimized shadow cone. According to the calculated neutron dose equivalent attenuation factors, a cone with 20 cm of iron and 30 cm of polyethylene has been found as optimum. For this cone, the neutron dose equivalent attenuation factor for ²⁴¹Am/Be neutron source, is 0.00035 for which the contribution of scattered neutrons in AMIRS neutron calibration laboratory according to the calculation and measurement results, can be evaluated with less than 0.5% of error.

Keywords: Shadow Cone, Optimization, Am/Be Neutron Source, Calibration, Monte Carlo Method, Attenuation Factor, Scattering

^{*}email: graisali@aeoi.org.ir

۱ – مقدمه

کالیبره کردن مناسب دزیمترهای نوترون نیازمند این است که پاسخ دستگاه کالیبره شونده با توجه به اثر نوترونهای پراکنده شده تصحیح شود [۱ تا ۴]. منشاء پراکندگی نوترونها ممکن است تجهیزات اتاق کالیبراسیون، هوای اتاق، سقف، کف و دیوارهای اتاق باشد، که پراکندگی از دیوارها، کف و سقف اتاق دارای اهمیت بیشتری است [۵].

روشهای متعددی برای بررسی تصحیحهای پراکندگی لازم برای کالیبره کردن دزیمترهای نوترونی وجود دارد که از لحاظ نحوه عملکرد در دو گروه دستهبندی میشوند [۶، ۷ و ۸]:

در گروه اول، اندازه گیری پاسخ دستگاه به تمام نوترونها (نوترونهای چشمه و نوترونهای پراکنده) انجام میشود، سپس ترکیبی از محاسبات کمکی برای تعیین میزان نوترونهای پراکنده صورت می گیرد.

گروه دوم از اندازه گیری مستقیم پاسخ دستگاه به نوترونهای پراکنده، سپس کم کردن آن از پاسخ کل دستگاه کالیبره شونده جهت کالیبراسیون دزیمترها و شمارندههای نوترونی استفاده میکند، که اندازه گیری سهم نوترونهای پراکنده با استفاده از یک مخروط سایه^(۱) صورت می گیرد [۹].

۲- روش مخروط سایه

در این روش، تعیین سهم نوترونهای پراکنده به سوی آشکارساز، به وسیله دیوارها و هوای درون اتاق، به صورت تجربی و آزمایشگاهی، با استفاده از طراحی یک مخروط سایه برای جلوگیری از ورود نوترونهای چشمه به آشکارساز، صورت می گیرد. بنابراین مخروط سایه حفاظی برای جلوگیری از نوترونهای مستقیم وارد شونده به آشکارساز است [۱۰، ۱۱ و .

در این روش با قرار دادن یک مخروط سایه بین آشکارساز و چشمه، آشکارساز تنها نوترونهای حاصل از پراکندگی در هوا و دیوارهای اتاق و هر ساختار درون آن را می شمارد، که قرائت آشکارساز در این وضعیت نشاندهندهٔ پاسخ آن به نوترونهای روی آور به سوی آشکارساز است. این پاسخ آشکارساز را می توان از پاسخ آن در حالت عدم حضور مخروط به منظور بدست آوردن پاسخ ناشی از نوترونهایی که مستقیماً از چشمه به

آشکارساز میرسند، کم کرد. این روش دارای مزیتی است که امکان اندازه گیری دقیق پرتوهای پراکنده را فراهم میسازد و اغلب به همراه شمارندههای طویل^(۲) مورد استفاده قرار می گیرد؛ اخیراً نشان داده شده است که این روش در آشکارسازهای کروی و استوانهای هم کاربرد دارد [۶].

Archive of SID

در انتخاب مواد به کار رفته در ساخت مخروط سایه، باید برای کندکردن نوترونها و در نهایت جذب آنها، از موادی با عدد جرمی پائین، از جمله ترکیبات هیدروژندار مانند آب، پارافین، پلیاتیلن و... استفاده شود. اما چون سطح مقطع پراکندگی و جذب نوترونها در عناصر سبک، با افزایش انرژی نوترون کاهش مییابد، باید ابتدا انرژی این نوترونها کاسته شود، سپس توسط مواد سبک، کُند و جذب شوند. به همین جهت معمولاً مخروط را از دو جنس می سازند. قسمت جلویی مخروط که رو به چشمه است از مواد سنگین که دارای سطح مقطع پراکندگی ناکشسان بالایی می باشند (مانند آهن) و قسمت انتهایی مخروط برای کُند کردن و جذب نوترونهای عبوری از قسمت اول، از عناصر سبک (مانند پلی اتیلن) ساخته می شود [17].

۳- روش محاسبات

در کاربرد روش مخروط سایه برای تعیین سهم نوترونهای پراکنده شده در پاسخ دستگاه کالیبره شونده، اندازه گیریها در دو مرحله: یکبار بدون حضور مخروط سایه و بار دیگر با حضور آن، صورت می گیرد. بنابراین هدف از بهینهسازی مخروط سایه دست یافتن به ضریب تضعیف مناسبی برای نوترونهای مستقیم، به منظور تعیین دقیق تر میزان پراکندگی آنها میباشد.

برای بدست آوردن مشخصات مخروط سایه بهینه، پس از تعیین هندسه آن، نرخ دْز معادل نوترون، به ازای ضخامتهای متفاوت دو جنس آهن و پلیاتیلن، به وسیلهٔ کد MCNP-4C [۱۴] حساب شده است. استفاده از کد MCNP به منظور شبیهسازی ترابْرد پرتوهای نوترون و پاسخ دزیمترها، در پژوهشهای متعددی مدنظر قرار گرفته است [۸ ۱۵ و ۱۶].

نظر به اینکه در آزمایشگاه کالیبراسیون پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پـزشکـی و صنعتـی از میـدان نـوتـرون چشمـه ²⁴¹Am-Be استفاده میشود، محاسبات در میدان چشمه نقطهای



همسانگرد و بیناب انرژی نوترونهای Am-Be بدین طریق انجام گرفت که ابتدا نرخ دُز معادل نوترون بدون حضور مخروط (D₀) با استفاده از تالی F4 و وارد کردن ضرایب تبدیل شار به نرخ دُز معادل نوترون [۱۷ و ۱۸] درون کرهای به شعاع ۱۲/۵ سانتی متر به عنوان آشکارساز و در فاصله ۱۵۰ سانتی متری چشمه انجام شد. سپس به منظور تعیین نرخ دُز معادل نوترونهای عبوری از مخروط در حالتهای طولی مختلف آن، محاسباتی با در نظر گرفتن برشهایی به ضخامت ۵ سانتی متر به شکل مخروط ناقص از دو جنس آهن و پلی اتیلن با ضخامتهای طولی متفاوت

اگر نرخ دُز معادل نوترون در غیاب مخروط، D_{\circ} و در حالت حضور آن بین چشمه و آشکارساز، D باشد، ضریب تضعیف مخروط که کمیتی بدون بْعد است به صورت $D_{D_{\circ}}^{D}$ تعریف میشود. بنابراین پس از محاسبه نرخ دُز نوترون برای حالتهای مختلف مخروط سایه و تقسیم آن بر D_{\circ} میتوان ضریب تضعیف را بدست آورد.

٤- نتايج محاسبات

بر اساس نتایج بدست آمده از محاسبات انجام شده با کد MCNP برای ضخامتهای مختلف پلیاتیلن و آهن، نمودار تغييرات طول كل مخروط برحسب ضخامتهاي مختلف آهن به ازای ضریب تضعیفهای مختلف، در شکل ۱ رسم شده است. بطوری که در این شکل مشاهده می شود برای ضریب تضعیف ۰/۱ با تغییر ضخامت آهن تغییر چندانی در طول کل مخروط بوجود نمي آيد، به عنوان مثال، وقتى ضخامت آهن ١٥ سانتي متر باشد طول كل مخروط نسبت به حالتي كه مخروط تنها از پلي اتيلن ساخته شود تغییر قابل توجهی نمی کند. بنابراین به منظور داشتن جرم کمتر، بهتر است که تنها از پلیاتیلن استفاده شود. در حالتی که ضریب تضعيف ٢٠٠٠١ باشد، كمترين طول مخروط مربوط به حالتي است که در ساخت آن از ۳۵ سانتیمتر آهن استفاده شود، در این صورت طول مخروط ۵۵ سانتی متر خواهد بود. کمینه کر دن طول مخروط از این جهت دارای اهمیت است که هر چه مقدار آن به ازای یک ضريب تضعيف مشخص كمتر باشد، مي توان آشكارساز را به چشمه نزدیکتر کرد و از شدت بیشتر تابش نوترونها برای تسریع در پرتودهی و همچنین خطای آماری کوچکتر بهره برد.

مجله علوم و فنون هستهای، شماره ۳۸ ۱۳۸۵ Archive of SID

> در شکل ۲، نمودار جرم کل مخروط برحسب ضخامت آهن بکار رفته در آن به ازای ضریب تضعیفهای مختلف برای چشمه ²⁴¹Am-Be رسم شده است. با توجه به این شکل می توان گفت که استفاده از ضخامت کمتر آهن در ساخت مخروط، متناظر با جرم کمتر مخروط سایه است. به عنوان مثال چنانچه در ساخت مخروطی با ضریب تضعیف ۲۰۰۰ به جای استفاده از آهن به ضخامت ۳۵ سانتی متر از ضخامت ۲۰ سانتی متر استفاده شود جرم مخروط تقریباً به نصف کاهش می یابد.



تضعیفهای مختلف در حضور چشمه ²⁴¹Am-Be.





در شکل ۳ نمودار ضریب تضعیف مخروط برحسب ضخامت آهن مورد استفاده در مخروط به ازای طولهای مختلف مخروط رسم شده است. در این شکل مشاهده می شود، چنانچه مخروطی به طول ۲۰ سانتی متر انتخاب شود اختلاف ضریب تضعیف برای حالتهای مختلف آن از لحاظ ضخامتهای آهن و پلی اتیلن بیش از دو برابر نمی شود ولی برای طولهای بیشتر، این اختلاف افزایش می یابد؛ به عنوان مثال در صور تیکه طول مخروط ۶۰ سانتی متر باشد، تغییر در ضریب تضعیف به ازای ضخامتهای مختلف آهن و پلی اتیلن به بیش از ۱۰ برابر می رسد. بنابراین هر چه طول مخروط بیشتر شود بهینه سازی بیشتر اهمیت می یابد.

با توجه به شکل ۳ مشاهده می شود، چنانچه مخروطی به طول کل ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته شود، ضریب تضعیف نو ترون های مستقیم بین ۲۰۰۰/۰ تا ۲۰۰۴ است، بنابراین سهم نو ترون های عبوری در مقایسه با نو ترون های پراکنده شده قابل اغماض خواهد بود. در این شکل، بیشترین ضریب تضعیف مربوط به حالتی است که از ۳۵ سانتی متر آهن در مخروط استفاده شود، اما با توجه به اینکه ضخامت کمتر آهن متناظر با جرم کمتر مخروط است و با توجه به اینکه برخی ضخامتهای کمتر آهن، از جمله مخامت ۵۸ سانتی متر ندارند، بنابراین به جهت داشتن مخروطی با مخامت ۵۸ سانتی متر ندارند، بنابراین به جهت داشتن مخروطی با جرم کل کمتر، ضخامت ۲۰ سانتی متر آهن را انتخاب کرده ایم، در این صورت ضریب تضعیف مخروط برابر با ۲۰۰۰/۰ خواهد بود.



شکل ۳- نمودار ضریب تضعیف مخروط برحسب ضخامت آهن مورد استفاده در مخروط به ازای طول کل های مختلف مخروط.



٥- نتایج اندازه گیری

به منظور اندازه گیری میزان نوترونهای پراکنده در آزمایشگاه كاليبراسيون ميدان نوترون پژوهشكده تحقيقات كشاورزي، پزشکی و صنعتی در فواصل مختلف از چشمه ²⁴¹Am-Be، در حضور مخروط سایه، از آشکارساز نوترون مدل LB6411 ساخت شرکت Berthold [۱۹] استفاده شد. تصویری از آشکارساز به همراه مخروط سایه ساخته شده و سایر تجهیزات اندازه گیری در شکل ۴ نشان داده شده است. به عنوان مثال بر اساس طیف بدست آمده از محاسبات MCNP، نرخ دُز در فاصله یک متری از چشمه، در غیاب مخروط سایه ۱۴۱ µSv/h و در حضور مخروط سایه ۲۱ µSv/h محاسبه شده است. مقادیر نظیر اندازه گیری شده به وسیلهٔ آشکارساز LB6411 برابر ۱۲۳ و ۱۶ میکرو سیورت در ساعت بدست آمده که در توافق نسبتاً خوبی با نتایج محاسبات میباشند [۲۰]. در مورد منابع خطای محاسبات می توان خطای ناشی از ساده سازی های انجام شده در هندسه مسأله، مقادير سطح مقطع هاى اندر كنش ها در كد محاسباتي و خطاي تصادفي محاسبات مونت كارلو (حدود ۵٪) را ذکـر کـرد. خطـای ذاتـی دسـتگاه دُزیمتـر LB6411 «حدود ۱۰٪»، وابستگی پاسخ دزیمتر به انرژی و جهت تابش نوترون های مستقیم و پراکنده نیز از دیگر منابع خطا در اندازه گیریهای انجام شدهاند.



شکل ٤– تصویری از مخروط سایه طراحی و ساخته شده و پیکربنـدی مـورد استفاده در اندازه گیری دُز نوترونهای پراکنده شده در آزمایشگاه کالیبراسیون نوترون پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی.



۱- Shadow-Cone

Y- Long Counter

References:

1. N. Roberts, NPL. "Problems associated with the calibration of area survey meters and personal dosemeters," workshop on determination of neutron dose equivalent, NPL (2003).

پینوشتھا:

- 2. Safety Report Series No. 16, "Calibration of radiation protection monitoring instruments," International Atomic Energy Agency, Vienna (2000).
- 3. D. Singh, E. Piksch, Β. Burgkhardt, "Investigation of room scattered neutrons and their importance for the calibration of albedo Dosemeters," commission of the European proceedings the fifth communities. of symposium on neutron dosimetry radiation aspects, 17-21 September1984, protection Munich/Neuherberg (1984).
- 4. A. Rimpler, "Calibration of neutron dosimeters in the presence of scattered neutrons," Report SAAS 348 (1987).
- C.M. Eisenhauer, J.B. Hunt, R.B. Schwartz, "Calibration techniques for neutron personal dosimetry," Radiat. Prot. Dosimetry. Vol. 10, No. (1-4), 43-57 (1985).
- 6. H. Tagziria and D.J. Thomas, "Calibration and Monte Carlo modeling of neutron long counters," Nuclear Instrument and Methods in Physics Research, A. 452, 470-483, (2000).
- H. Schuhmacher, S. Guldbakkle, H. Klein, H. Strzelczyk, "Response of two bonner spheres for 2.5 and 14.7 MeV neutrons determined with two different methods," ISSN 0572-7170 ISBN 3-88314-786-9 (June 1988).
- 8. R. Bedogni, G. Gualidrini, F. Montrventi, "Field parameters and dosimetric characteristics of a fast neutron calibration facility: experimental and Monte Carlo evaluations," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A-476, 381-385 (2002).

 \odot

۲- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق مشخص شد که برای ضخامتهای زیاد یا ضریب تضعیفهای بالا، محاسبات بهینهسازی از اهمیت ویژهای برخوردارند، بطوریکه برای مخروطی از آهن خالص به ضخامت ۶۰ سانتیمتر، ضریب تضعیف برابر ^۳-۱۰×۲۵/ و برای مخروطی از پلی اتیلین خالص با همان ضخامت، برابر ^۴-۲۰×۴ خواهد بود. این در حالتی است که کمترین ضریب تضعیف مربوط به ۴۵ سانتیمتر آهن و ۱۵ سانتیمتر پلی اتیلین، برابر ^۵-۲۰×۵ می باشد که ۳۰ برابر کمتر از حالت آهن خالص و ۸ برابر کمتر از حالت «پلی اتیلین خالص» است. این نتایج، اهمیت بهینه سازی را به روشنی نشان می دهند.

در روش مخروط سایه با توجه به ضریب تضعیف مخروط، هنوز بخشي از ياسخ آشكارساز در حالت حضور مخروط سايه، مربوط به نوترونهای عبوری از مخروط است. بنابراین هر چه تضعيف مخروط بيشتر باشد قرائت آشكارساز در حالت حضور مخروط سايه به ميزان واقعى نو ترون هاى يراكنده نز ديكتر خواهد بود. چنانچه ضریب تضعیف بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱ در نظر گرفته شود، سهم نوترونهای عبوری در مقایسه با سهم نوترونهای يراكنده قابل اغماض بوده و كاليبره كردن با دقت مناسبي انجام خواهد شد. با توجه به شکل ۳ انتخاب مخروطی به طول کل ۵۰ سانتیمتر، ضریب تضعیف مناسبی را برآورده میکند. پس از انتخاب طول كل مخروط براي تعيين ضخامت آهن مورد استفاده در ساخت مخروط با در نظر گرفتن شکل ۳ و با توجه به اینکه تغييرات ضريب تضعيف مخروط در حالتي كه ضخامت آهن از ۲۰ سانتی متر تا ۳۵ سانتی متر تغییر کند، اندک است، برای کاستن جرم مخروط، از کمترین ضخامت آهن (یعنی ۲۰ سانتیمتر) برای ساخت مخروط استفاده شد. در این صورت با استفاده از مخروط سایه ساخته شده، شامل ۲۰ سانتیمتر آهن و ۳۰ سانتیمتر یلی اتیلن، دْز معادل نوترون نسبت به حالت عدم وجود مخروط ۰/۰۰۰۳۵ بار کوچکتر خواهد بود. با توجه به ضریب تضعیف بدست آمده و مقادیر حساب شده یا اندازه گیری شده در مورد سهم نوترونهای مستقیم و یراکنده، می توان با کاربرد این مخروط میزان دُز ناشی از نوترونهای پراکنده را با خطائی کمتر از ۵/۰ در صد تعین کرد.





- 9. J.B. Hunt, "The calibration of neutron sensitive spherical devices," Radiat. Prot. Dosimetry 8, 239-251 (1984).
- International standard, "Procedures for calibration and determining the response of neutron-measuring devices used for radiation protection purposes," ISO 10647, 1st edition (1996).
- 11.M.T. Cruz and L. Fratin, "Establishment of a procedure for calibrating neutron monitors at the physics institute of the university of Sao Paulo, Brazil," Radiation Protection Dosimetry, Vol. 44, No. 1/4, 143-146 (1992).
- 12. J.B. Hunt, "The calibration and use of long counters for the accurate measurement of neutron flux density,".
- ک. کشتکار، اساتید راهنما: غ. رئیسعلی، م. شمسایی، "تدوین .13 نرمافزار بهینهسازی حفاظ اصلی رآکتورهای هستهای با استفاده از روش غیرخطی،" پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (۱۳۷۹).
- 14. J.F. Briesmeister, editor, "MCNP-4C A general Monte Carlo N-Particle transport code systemversion 4C," Los Alamos National Laboratory, LA-13709-M (2000).
- 15.J. Saegusa, M. Yoshizawa, Y. Tanimura, M. Yoshida, T. Tamano, H. Nakaoka, "Evalution of energy responses for neutron dose-equivalent meters made in Japan," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A-516, 193-202 (2004).

- غ. رئیس علی، ن. حاجیلو، س. حمیدی، غ. اصلانی، "همانندسازی .16
 جو یبارش نوترون ها در راهرو حفاظ اتاق هدف تالیوم .00 Cyclone
 با استفاده از کد کامپیوتری MCNP ،" مجله علوم و فنون هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۲۳، (۱۳۸۳).
- 17. International Organization for Standardization, "International standard, neutron reference radiations for calibrating neutron measurement devices used for radiation protection purposes," ISO 8529, 1st edition (1998).
- 18. Supplement to technical reports series No. 318, "Compendium of neutron spectra and detector responses for radiation protection purposes," International Atomic Energy Agency, Vienna, (2001).
- 19. EG & G. Berthold. "Operating manual neutron probe LB 6411," Id. No. 1-20188- 82042 BA2 Rev. No. 01 (1996).
- ۱. حلاجفرد، اساتید راهنما: غ. رئیس علی، س. حمیدی، "اندازه گیری .20 و همانندسازی میدان نوترون و گامای چشمه با استظاد Aima کد به Mظلا کالیبراسیون دزیمترهای نوترونی با روش مخروط سایه،" پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اراک، (خرداد ۱۳۸۴).