



انجمن حفاظت در برابر اشعه ایران

مقاله پژوهشی



مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان (ویژه نامه) ۱۴۰۱، صفحه ۲۰۹-۲۱۲

ششمین کنفرانس سنجش و ایمنی پرتوهای یون ساز و غیر یون ساز (مرداد ماه ۱۴۰۰)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸

بررسی دز نوترون‌های پراکنده در کالیبراسیون میدان‌های نوترونی

معصومه شاه‌بهرامی^{۱*} و علی نبی‌پور چاکلی^۲

^۱ گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

^۲ پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

* تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، کدپستی: ۱۴۶۹۶۶۹۱۹۱

پست الکترونیکی: physics1368@gmail.com

چکیده

همان‌طور که می‌دانیم چشمه‌های نوترونی می‌توانند آلودگی‌های شدید ایجاد کنند و به دلیل ویژگی‌های ذاتی که مربوط به ذرات نوترون است، گاهی در شناخت و مهار آن‌ها درست عمل نمی‌کنیم. آنچه که در این پژوهش در نظر داریم، بررسی دو چشمه نوترونی $^{241}\text{Am} - \text{Be}$ و ^{252}Cf است که با روش نیمه تجربی و روش سایه مخروط سهم پراکندگی نوترون‌های ساطع شده را می‌یابیم و عوامل مؤثر در پراکندگی بیش‌تر و هم‌چنین روش پیش‌گیری از پراکندگی مورد مطالعه قرار می‌گیرد و با شبیه‌سازی از طریق کد هسته‌ای MCNPX میزان پراکندگی و جذب را بررسی می‌کنیم. بیش‌ترین میزان جذب در دیواره‌ها اتفاق می‌افتد و کف اتاق بیش‌ترین سهم پراکندگی را دارد که لازم است ارتفاع چشمه از کف اتاق حداقل ۱/۵ متر باشد. هر اندازه قدرت چشمه بیش‌تر باشد، میزان پراکندگی کم‌تری در محیط ایجاد می‌کند. برای مثال میزان پراکندگی چشمه $^{241}\text{Am} - \text{Be}$ بیش‌تر از چشمه ^{252}Cf است.

کلیدواژگان: چشمه‌های نوترونی، میدان پرتو، میدان نوترونی، دز نوترون، نوترون‌های پراکنده.

۱. مقدمه

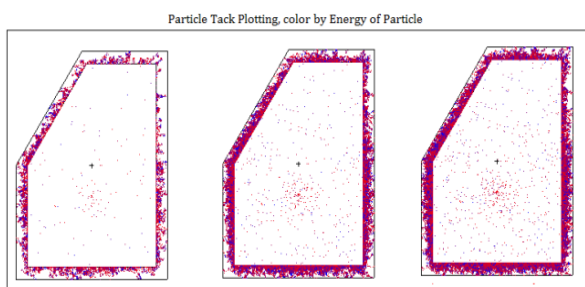
عهده دارند. میدان‌های کالیبره شده پرتوهای نوترون، به دلیل این‌که نوترون‌ها ذراتی بدون بار، بسیار نافذ و دارای پراکندگی بسیار بالایی هستند، آشکارسازی آن‌ها پیچیده بوده و در نتیجه تعیین مقدار دز نوترون در هر نقطه در میدان با سختی‌هایی همراه است. نوع چشمه ایزوتوپی نوترون، شدت چشمه و طیف انرژی نوترون‌های ساطع شده از چشمه و هم‌چنین موقعیتی که چشمه در آن قرار گرفته است، همگی از عوامل تعیین‌کننده در سهم

در علوم و صنایع هسته‌ای، جهت بررسی کیفیت خروجی آشکارسازهای پرتوها و تعیین صحت و دقت سیستم‌های تولید پرتو، میدان‌های پرتوهای کالیبره شده و استاندارد مورد نیاز است. پرتوهای ایکس، گاما، نوترون و الکترون هر کدام دارای میدان‌های کالیبره شده هستند. در جهان آزمایشگاه‌های دزیمتری استاندارد اولیه (PSDL) و دزیمتری استاندارد ثانویه (SSDL) وظیفه‌ی تأسیس و نظارت بر میدان‌های کالیبره را بر

تمام مصالح به کار رفته در ساختمان اطاق چشمه نوترون باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که حداقل تأثیر در پراکندگی داشته باشند و آن‌طور که متوجه شدیم پراکندگی از کف اطاق بیش از سایر بخش‌ها بود. به همین ترتیب لازم است بدانیم که برای به حداقل رساندن تابش‌های ناهمسان‌گرد از چشمه‌های استوانه‌ای یا کروی استفاده می‌کنیم که انتخاب ما چشمه استوانه‌ای بود که در این حالت آشکار ساز باید در $\theta=90^\circ$ نسبت به محور استوانه تنظیم گردد و ناهمسان‌گردی برای هر چشمه محاسبه می‌شود که چشمه‌های انتخابی ما ^{252}Cf و $^{241}\text{Am} - \text{Be}$ هستند.

برای بررسی دز نوترون از سه روش توصیه شده در استاندارد بهره می‌بریم: روش نیمه تجربی، روش سایه مخروط و روش چند جمله‌ای مناسب که از این بین روش چند جمله‌ای مناسب دارای مفهوم فیزیکی معتبری نیست و بیش‌تر برای حالتی که از آشکارسازهای بزرگ و چشمه‌های بزرگ در یک اطاق بزرگ یا حالتی که چند دزی‌متر روی یک فانتوم نصب شده است مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ما با استفاده از کد برنامه‌نویسی MCNPX و شبیه‌سازی چشمه و موقعیت آن مقدار انرژی و شدت دز نوترون‌های پراکنده را محاسبه می‌کنیم و در مرحله بعد به صورت تجربی با اندازه‌گیری در فواصل مختلف می‌توانیم به مقدار دز نوترون در هر نقطه دست یابیم و به این روش پراکندگی در موقعیت‌ها و فواصل مختلف از چشمه را بررسی می‌کنیم.



شکل (۱): شبیه‌سازی جذب نوترون توسط جدارهای اطاق کالیبراسیون در اثر حضور چشمه Am-Be.

پراکندگی نوترون می‌باشند. هدف از این پژوهش پاسخ به این پرسش است که سهم پراکندگی نوترون‌ها در هر نقطه چگونه است؟

۲. روش انجام تحقیق

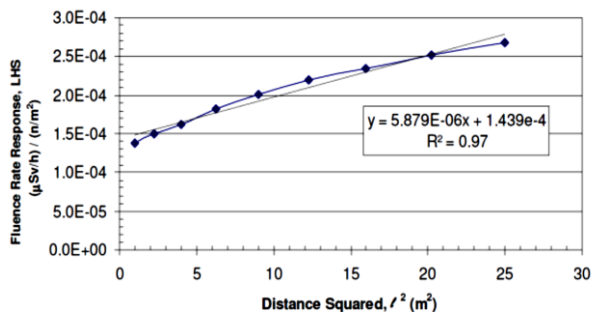
در این تحقیق از دو روش استفاده می‌شود که در روش اول از طریق شبیه‌سازی مقدار انرژی و شدت دز نوترون‌های پراکنده را محاسبه می‌کنیم و در مرحله بعدی به صورت تجربی و با استفاده از داده‌های آزمایشگاه، اندازه‌گیری انجام می‌شود و از طریق مقایسه دو مقدار به رابطه تصحیح مقدار دز می‌رسیم که در بخش شبیه‌سازی از کد برنامه‌نویسی MCNPX که یکی از کدهای محاسباتی هسته‌ای است براساس روش مونت کارلو کار می‌کند، استفاده خواهیم نمود. در بخش تجربی، با استفاده از اطلاعاتی که از آزمایشگاه حاصل می‌شود به تحلیل داده‌ها می‌پردازیم.

۳. بحث

با توجه به اینکه نوترون ذره‌ای بدون بار و نافذ است که به سرعت با عناصر محیط واکنش می‌دهد و منجر به یونیزاسیون عناصر می‌شود و همچنین پراکندگی‌هایی که در اثر عوامل محیطی بر طیف نوترون اثر می‌گذارد بر آن شدید پژوهشی در جهت یافتن دز نوترون‌های پراکنده و همچنین به حداقل رساندن عوامل پراکندگی داشته باشیم.

کالیبراسیون می‌تواند به‌عنوان مجموعه‌ای از انجام عملیات تحت شرایط مشخص شده تعریف شود که ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده توسط ابزار اندازه‌گیری و یا سیستم و مقادیر صحیح شناخته شده مشابه از یک مقدار، اندازه‌گیری شود که باتوجه به استاندارد ISO10647 اطاق کالیبراسیون با هر ابعادی که باشد موقعیت مرکزی اطاق یا جایی نزدیک به آن را برای به‌حداقل رساندن عوامل پراکندگی نوترون در نظر می‌گیریم.

دهنده مقدار R_ϕ است. مقدار S نیز با شیب خط نمودار مطابقت دارد.



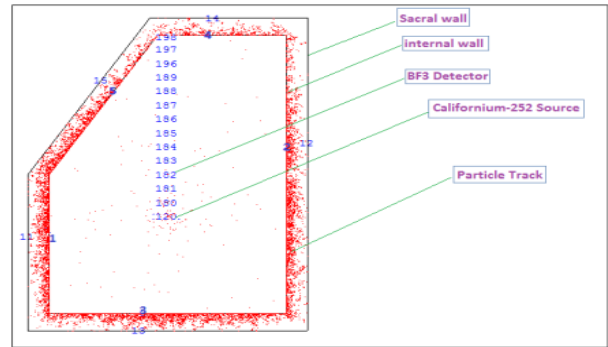
نمودار (۱): نمودار به دست آمده از روش نیمه تجربی برحسب مجذور فاصله.

از روش نیمه تجربی معمولاً برای اتاق‌های کوچک استفاده می‌شود که با حجم تقریبی ۲ متر در ۲ متر در ۲ متر است. در روش سایه مخروط، یک مخروط ناقص را بین مسیر آشکارساز و چشمه قرار می‌دهیم و به این طریق تمام نوترون‌هایی که قرائت می‌شود نوترون‌های پراکنده هستند و یک‌بار هم در همان فواصل بدون حضور مخروط خوانش را انجام می‌دهیم که با کسر این دو مقدار از هم می‌توانیم به مقدار نوترون‌های مستقیم که در واقعی را نشان می‌دهد برسیم. با استفاده از فرمول روش سایه مخروط محاسبات انجام می‌شود:

$$\Delta M = M_T - M_s \quad \text{و} \quad \Delta M \cdot F_A(I) = k/I^2 \quad [17].(2)$$

که $F_A(I)$ عامل میرایی هوا به عنوان تابعی از فاصله است و k ثابت مشخصه چشمه - آشکارساز است، یعنی قرائت‌ها در واحد فاصله که تماماً برای کل اثرات پراکندگی اصلاح شده است. مقدار k با توجه به فرمول ۲ از شیب نمودار $\Delta M \cdot F_A(I)$ بر حسب $1/I^2$ که نموداری خطی است، به دست می‌آید.

لازم است بدانیم که تابع در فرمول ۲ به طور ایده آل بدون هیچ ضربی است، یعنی باید نمودار این تابع از مبدأ مختصات عبور کند. در غیر این حالت، هر مقدار قطع باید از قرائتی که در کالیبراسیون‌های معمول مورد استفاده قرار می‌گیرد کسر گردد.



شکل (۲): شبیه‌سازی جذب نوترون توسط جدارهای اتاق کالیبراسیون در اثر حضور چشمه ^{252}Cf .

تصاویر فوق شبیه‌سازی شده از میزان جذب و پراکندگی دو چشمه نوترونی با قدرت متفاوت هستند. از روش نیمه تجربی متوجه می‌شویم که وقتی آشکارساز را در فواصل مختلف از چشمه قرار می‌دهیم سهم خوانش توسط آشکارساز تغییر می‌کند چرا که در فواصل کم‌تر سهم خوانش بیشتر به نوترون‌های مستقیم و پراکنده نشده مربوط می‌شود و هر قدر فاصله از چشمه بیشتر می‌شود نوترون‌های پراکنده هم در خوانش دستگاه تأثیر می‌گذارد که با استفاده از فرمول روش نیمه تجربی می‌توانیم به این ارزیابی دست یابیم:

$$M_T / [\phi \cdot F_A(I) \cdot (1 + A \cdot I)] = R_\phi (1 + S \cdot I^2) \quad [17].(1)$$

که در آن؛

A : مؤلفه پراکندگی هوا است که برای چشمه $^{241}\text{Am} - \text{Be}$ برابر با ۰.۹٪ است.

S : کسر پراکندگی اتاق در واحد فاصله مورد تست.

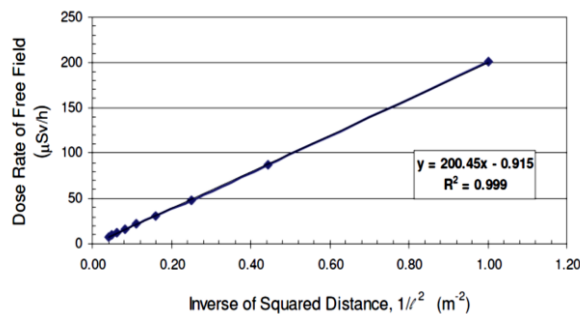
ϕ : نرخ شار نوترون.

I : فاصله موثر چشمه تا آشکارساز.

M_T : کل خوانش، یعنی هم نوترون‌های مستقیم و هم نوترون‌های پراکنده است.

اگر از داده‌های به دست آمده نموداری رسم کنیم، سمت چپ نمودار (LHS)، زمانی که بر حسب I^2 رسم می‌شود باید نمودار یک خط مستقیم باشد که تقاطع این خط با محور LHS، نشان

کالیبراسیون بستگی دارد که استاندارد ISO10647 در مورد مصالح و حتی ابعاد اتاق کالیبراسیون صریحاً شرح داده است. اما برای به حداقل رساندن اثرات پراکندگی لازم است فاصله چشمه و آشکارساز از کف اتاق حداقل ۱.۵ متر باشد، چون بیش‌ترین پراکندگی از کف اتاق است. همچنین از شبیه‌سازی متوجه شدیم بیش‌ترین میزان پراکندگی و جذب مربوط به چشمه ای است که نوترون‌های کندتری دارد و بیش‌ترین جذب در دیواره‌ها اتفاق افتاد، پس خیلی مهم است در محیط‌هایی که چشمه نوترونی فعالیت دارد جنس و ضخامت دیواره‌ها طوری در نظر گرفته شود که بیش‌ترین جذب و کم‌ترین نشت را داشته باشند.



نمودار (۲): نمودار روش سایه مخروط که مقدار مشخصه از شبیه نمودار به دست می‌آید.

۴. نتایج

همان‌طور که متوجه شدیم میزان پراکندگی به فاصله از چشمه و قدرت چشمه و همچنین مصالح مورد استفاده در اتاق

۵. مراجع

۱. ک. کرین. آشنایی با فیزیک هسته‌ای. چاپ چهارم، جلد دوم، ترجمه: ن. میرفخرایی، م. مدرس. مرکز نشر دانشگاهی، تهران ۱۳۹۳.
۲. ک. اچ. بکرتس، ک. ویرتز. فیزیک نوترون. ترجمه: ع. افشاری کشلو، ع. پذیرنده، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۵۲.
3. G. F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*, 4th ed, John Wiley & Sons, New York, 1999.
- [۴]. آ. فوستر، ر. رایت. مهندسی هسته‌ای پایه. ترجمه: ع. افشاری کشلو، م. رهبر. دانشگاه شیراز، مرکز نشر (مرکز نشر دانشگاه شیراز)، ۱۳۶۴.
۵. ج. کنت شولتیس، ر. ای فاو. حفاظ‌سازی تابش. ترجمه: س. بیات، س. م. وهابی، ع. حسین‌زاده. سیمای دانش، آذر، ۱۳۹۶.
6. BSI-British standard Institution, ISO 8529-1:2001(E).
۷. م. صالحی. مبانی و کاربرد دانش هسته‌ای. جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی امیرکبیر)، ۱۳۸۷.
8. L. Dresner. Principles of Radiation Protection Engineering. Oak Ridge National Laboratory, 1965.
9. M. Winter, P. Beck, P. Kindl, S. Kerschbaumer. Characterisation of radiation detectors in photon and high energetic particle fields. Proceedings of the IRPA regional symposium on radiation protection in neighbouring countries of Central Europe, (p. 671). Czech Republic, 1998.
۱۰. ن. سولفانیدیس، اندازه‌گیری و آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای. ترجمه: ر. کوهی، م. ه. هادی‌زاده یزدی، انتشارات سیمین، ۱۳۹۰.
۱۱. ه. سمت، ج. ر. آلبرایت. آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای. جلد دوم، ترجمه خسرو بخشایی، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۴۰۱.
12. Software Janis. (Java Nuclear Information Software).
13. N. Ghaleh, *Modeling Photon Transport in Scintillators*. PhD Thesis, School of Science Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 2003.
14. C. M. Eisenhauer, R. B. Schwartz, T. Johnson. Measurement of neutrons reflected from the surfaces of a calibration room. *Health Phys.* 42 (1982) 489-495.
15. K. S. Lim, B. H. Kim, S. Y. Chang. Calibration of neutron measuring instruments by ²⁵²Cf neutron source. Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting Busan, Korea, 2005.
16. S. K. Lee, B. -H. Kang, G. -D. Kim, Y.-K. Kim. Fast neutron detector for fusion reactor KSTAR using stilbene scintillator. arXiv:1112.5963v1 [nucl-ex] (2011).
17. ISO 10647. Procedures for calibrating and determining the response of neutron-measuring devices used for radiation protection purposes. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 1996.