

مطالعه‌ی شبیه‌سازی و تجربی پدیده‌ی فرونشانی کامپتون به منظور تعیین هندسه‌ی

مناسب در اندازه‌گیری‌های حمام منگنز

هاجر، دوستی‌زاده^۱؛ نیما، قلعه^۱؛ زهرا، هزاملی^۲؛ وحید، دوست‌محمدی^۳

۱. دانشگاه دامغان، دانشکده فیزیک

۲. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، گروه فیزیک

۳. سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

چکیده

در این مقاله، پاسخ آشکارساز $NaI(Tl)$ که توسط آشکارساز حفاظ از نوع سوسوزن پلاستیکی احاطه شده است، برای چشمه‌ی ^{137}Cs و محلول سولفات منگنز که بوسیله‌ی چشمه‌ی $^{241}Am-Be$ فعال شده، محاسبه می‌شود. هدف از این پژوهش، تعیین عملکرد سامانه فرونشانی کامپتون با محاسبه‌ی عوامل فرونشانی طیف چشمه‌ی ^{137}Cs و همچنین رسیدن به طیف گامایی با بیشترین دقت و صحت در سامانه حمام منگنز به منظور تعیین آهنگ گسیل نوترونی مناسب می‌باشد. در این پژوهش، همچنین عملکرد سامانه فرونشانی کامپتون با استفاده از کد مونت‌کارلوی MCNPX محاسبه، سپس با نتایج تجربی بدست آمده در جهت اعتبار بخشی به آنها مقایسه می‌گردد.

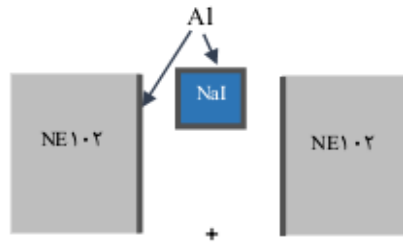
کلمات کلیدی: سوسوزن، مونت‌کارلو، غیرهمزمانی، فرونشانی، حمام منگنز

۱- مقدمه

تاکنون روش‌های متعددی جهت تعیین آهنگ گسیل چشمه‌های نوترونی به کار گرفته شده است، که در این میان روش حمام منگنز ترجیح داده می‌شود. در این روش چشمه نوترونی در مرکز یک حجم بزرگ از کندکننده‌ی محلول سولفات منگنز ($MnSO_4 \cdot H_2O$) قرار می‌گیرد. نوترون‌های گسیل شده از چشمه با برخورد به هسته‌های کُند کننده محیط، کُند و سپس حرارتی و از طریق واکنش $^{55}Mn(n,\gamma)^{56}Mn$ جذب منگنز می‌شوند. با اندازه‌گیری تعداد هسته‌های ^{56}Mn تولید شده از طریق شمارش تابش گاما می‌توان آهنگ گسیل نوترونی چشمه را تعیین نمود [۱]. قدرت تفکیک انرژی محدود آشکارسازهای سوسوزن، میزان حداقل اکتیویته قابل اندازه‌گیری و در نتیجه آن، ارزیابی دقیق آهنگ گسیل نوترون چشمه‌های رادیوایزوتوپی را با محدودیت‌هایی مواجه می‌کند. از جمله محدودیت‌ها اینکه، احتمال پراکندگی کامپتون در انرژی‌های در حد MeV افزایش می‌یابد در نتیجه بخش کم‌انرژی طیف، محل انباشت پیوستار کامپتون قله‌های پراکندگی می‌گردد. به منظور کاهش این اثر از سامانه فرونشانی کامپتون می‌توان استفاده نمود. در این سامانه، فوتون‌هایی که از آشکارساز اصلی می‌گریزند توسط آشکارسازهای اطراف آشکارسازی می‌شوند. اگر دو آشکارساز در مد غیرهمزمانی عمل کنند برهم‌کنش‌های کامپتون درون آشکارساز اصلی که در همزمانی با آشکارساز حفاظ قرار می‌گیرند، حذف می‌شود. لذا پیوستار کامپتون که در نتیجه‌ی فرار فوتون‌های پراکنده شده از آشکارساز اصلی ایجاد شده، کاهش می‌یابد [۲].

۲- شبیه‌سازی پدیده‌ی فرونشانی کامپتون با کد MCNPX

ساختار شبیه‌سازی شده، در یک نمونه ساده، شامل آشکارساز حفاظ NE۱۰۲ با هندسه مکعبی به ضخامت ۱۲cm و ارتفاع ۱۵cm و چگالی $۱/۰۳۲\text{g/cm}^3$ است. جهت طیف‌سنجی گاما، از آشکارساز اصلی NaI(Tl) به ابعاد $۲'' \times ۲''$ و چگالی $۳/۶۷\text{g/cm}^3$ استفاده شد. فرض می‌شود چشمه تابش گاما در مبداء قرار داشته و بصورت همسانگرد تابش می‌کند. شکل (۱)، نمونه‌ی شبیه‌سازی شده توسط کد MCNPX را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمونه‌ی شبیه‌سازی شده توسط کد MCNPX

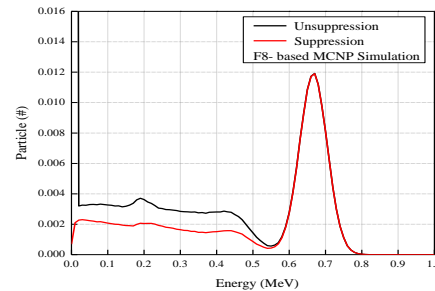
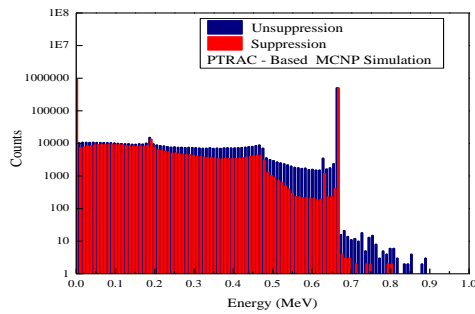
انرژی انباشته شده توسط ذرات با استفاده از کد MCNPX به دو روش محاسبه شد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

(الف) محاسبه‌ی انباشت انرژی بر پایه‌ی تالی F۸: تالی F۸ توزیع ارتفاع پالس مربوط به فوتون، الکترون یا هر دو را حساب می‌کند. این تالی توزیع انرژی پالس‌های تولید شده درون آشکارساز را فراهم می‌کند. با کارت F۸، تالی F۸ می‌تواند به تالی نوری غیرهمزمان (F۸ PHL) تبدیل شود که با استفاده از آن می‌توان محاسبات توزیع انرژی ارتفاع پالس تولید شده در حالت پادمفرودی را شبیه‌سازی کرد [۳].

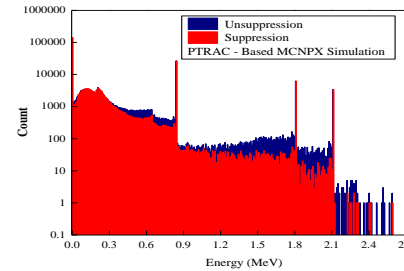
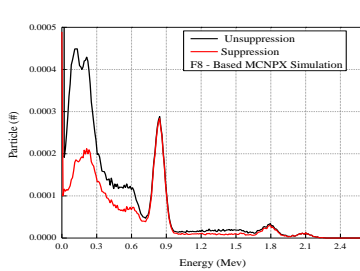
(ب) محاسبه‌ی انباشت انرژی بر پایه‌ی کارت PTRAC: با این روش، انرژی انباشته شده توسط ذرات و نیز مکان دقیق انباشت انرژی توسط کارت PTRAC ثبت می‌شود. خروجی این کارت به تنهایی قابل استفاده نیست لذا با استفاده از یک برنامه فرترن پس‌پردازش، داده‌های کارت PTRAC دریافت شده و انباشت انرژی درون سلول به ازای هر ذره محاسبه می‌شود. میزان انباشت انرژی درون آشکارساز NaI(Tl)، برای دو حالت بدون فرونشانی و فرونشانی محاسبه شده است.

۳- تعیین عملکرد سامانه فرونشانی کامپتون

عوامل فرونشانی طیف چشمه‌ی ^{۱۳۷}Cs با رابطه $SF = \frac{(P/C)_{\text{suppression}}}{(P/C)_{\text{unsuppression}}}$ محاسبه شد که در این رابطه، P/C، نسبت قله به پیوستار کامپتون در محدوده‌ی انرژی ۳۵۸keV تا ۳۸۲keV است [۴]. چشمه‌ی ^{۱۳۷}Cs چسبیده به آشکارساز NaI(Tl) در نظر گرفته شد. سپس طیف NaI(Tl) در هشت فاصله (۹/۵، ۱۲/۵، ۱۵، ۱۶/۵، ۱۷/۵، ۱۸/۵، ۱۹/۵، ۲۰/۵ سانتی‌متر) درون لوله‌ی آلومینیومی بدست آمد. طیف شبیه‌سازی شده‌ی ^{۱۳۷}Cs برای فاصله‌ی ۱۵cm در شکل (۲) نشان داده شده است. عوامل فرونشانی، محاسبه و در جدول (۱) لیست شده است.



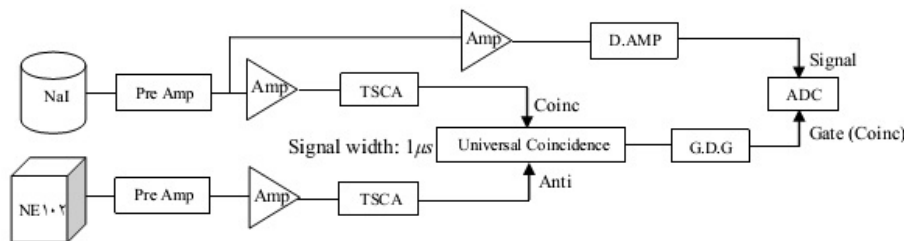
شکل ۲- طیف شبیه‌سازی شده توسط کد MCNP برای چشمه‌ی ^{137}Cs در حالات با و بدون فرونشانی. با استفاده از کد MCNPX، طیف گامای حاصل از $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ به حجم $8 \times 8 \times 8 \text{ cm}^3$ و چگالی 1.382 g/cm^3 ، شکل (۳) شبیه‌سازی شد. آشکارساز NaI(Tl) در ارتفاع ۱۲ cm از مبدا قرار گرفت. نتایج در جدول (۲) آمده است. شبیه‌سازیها برای انرژی‌های $846/8 \text{ keV}$ ، $1810/8 \text{ keV}$ و $2113/15 \text{ keV}$ مربوط به ^{56}Mn با توزیع وزنی $0/7$ ، $0/19$ و $0/11$ انجام گرفته است [۵].



شکل ۳- طیف شبیه‌سازی شده توسط کد MCNP برای محلول سولفات منگنز در حالات با و بدون فرونشانی.

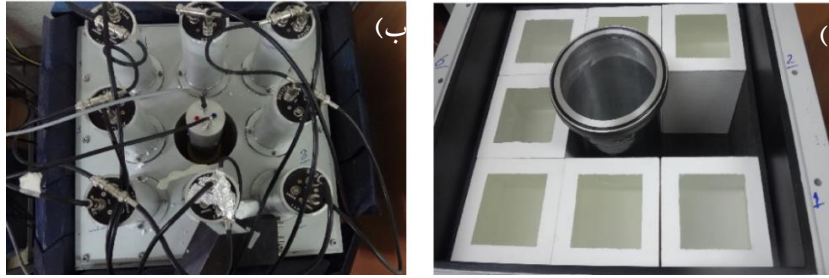
۴- مطالعات تجربی

طیف‌سنج گامای استفاده شده شامل اجزای زیر می‌باشد: آشکارساز NaI(Tl) ، هشت سوسوزن NE102 هر کدام به حجم $12 \times 12 \times 15 \text{ cm}^3$ به عنوان حفاظ فعال، حفاظ سربی و ماژولهای الکترونیکی. دیاگرام الکترونیک-های استفاده شده در طیف‌سنج در شکل (۴) آورده شده است.

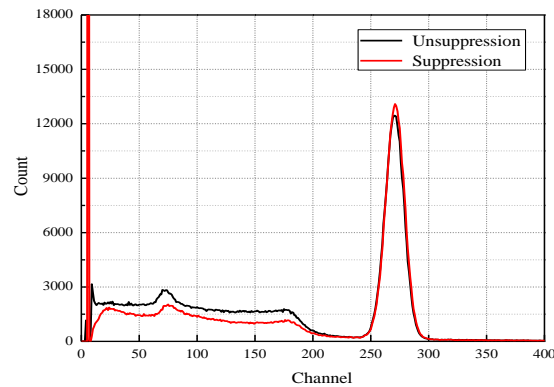


شکل ۴- دیاگرام الکترونیک استفاده شده در سامانه فرونشان کامپتون $\text{NE102} \times 8 - \text{NaI(Tl)}$

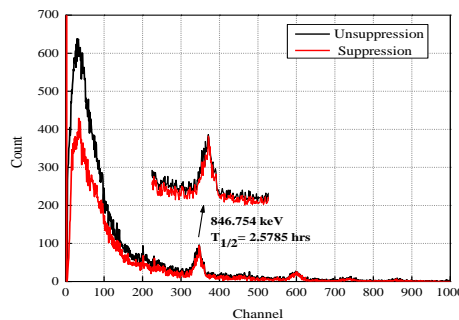
شکل (۵- الف) نحوه‌ی قرارگیری سامانه فرونشانی را نشان می‌دهد. به هر سوسوزن یک PMT، مدل XP۴۳۱۲B به قطر ۳ inch متصل شده است. هندسه نهایی سامانه فرونشان در شکل (۵- ب) آمده است.



شکل ۵- الف) نحوه قرارگیری سوسوزن‌های پلاستیک. ب) هندسه‌ی نهایی سامانه فرو نشان کامپتون تابع پاسخ آشکارساز NaI(Tl) برای چشمه‌ی نقطه‌ای ^{137}Cs در هشت موقعیت، برای بازه‌های زمانی ۲ min اندازه‌گیری شد. نتایج این اندازه‌گیریها در جدول (۱) آمده است. شکل (۶) طیف تجربی حاصل از چشمه‌ی ^{137}Cs وقتی NaI(Tl) در ارتفاع ۱۵ cm از مبدا قرار دارد، نشان می‌دهد.



شکل ۶- طیف تجربی چشمه‌ی گامای ^{137}Cs در بازه‌ی زمانی ۲ min در ارتفاع ۱۵ cm. سپس، برای محلول سولفات‌منگنز ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) که بوسیله‌ی چشمه‌ی $^{241}\text{Am-Be}$ با قدرت ۲۰ Ci در زمانهای متفاوت (۱۰، ۳۰، ۱۵۰ و ۸۴۰ min) پرتودهی و فعال شده است. نتایج این اندازه‌گیریها در جدول (۲) آمده است. طیف تجربی محلول سولفات‌منگنز برای حالات با و بدون فرونشانی در شکل (۷) آورده شده است.



شکل ۷- طیف تجربی محلول سولفات‌منگنز فعال‌شده در بازه زمانی ۱۵۰ min، شمارش به مدت ۱۰ min.

۷- نتیجه گیری

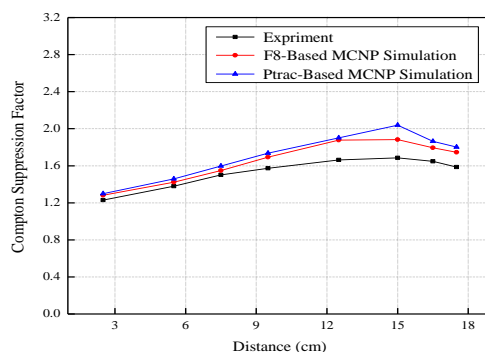
نتایج بدست آمده از تجربه و شبیه سازی همخوانی داشته و همگی یک روند را دنبال می کنند. بیشترین عامل فرونشانی برای ارتفاع ۱۵ cm (برای هر دو حالت شبیه سازی و تجربه)، در حالت تجربی ۱/۶۸۶ و برای شبیه سازی بر پایه خروجی F8 و PTRAC به ترتیب ۱/۸۸۱ و ۲/۰۳۹ است. عامل فرونشانی بدست آمده از حالت تجربی برای محلول سولفات منگنز ۱۵۰ min فعال شده و شمارش در ۱۰ min، ۱/۴۲۲، برای شبیه سازی بر اساس خروجی F8، ۱/۷۹۹ و بر اساس PTRAC، ۱/۷۰۷ بدست آمد. شکل (۸) عوامل فرونشانی بدست آمده از چشمه نقطه‌ای ^{137}Cs را برای حالات تجربی و شبیه سازی بصورت تابعی از موقعیت آشکارساز NaI(Tl) نشان می دهد.

جدول ۱- مقایسه‌ی عوامل فرونشانی سامانه $\text{NaI(Tl)}-\text{NE102}$ برای چشمه‌ی نقطه‌ای ^{137}Cs

فاصله NaI از مبدا (cm)		۲/۵	۵/۵	۷/۵	۹/۵	۱۲/۵	۱۵	۱۶/۵	۱۷/۵
عوامل فرونشانی	F8 - Based MCNP	۱/۲۸۱	۱/۴۲۳	۱/۵۴۹	۱/۶۹۲	۱/۸۷۶	۱/۸۸۲	۱/۷۹۵	۱/۷۴۵
	PTRAC - Based MCNP	۱/۲۹۸	۱/۴۵۸	۱/۵۹۸	۱/۷۳۷	۱/۹۰۱	۲/۰۳۹	۱/۸۶۳	۱/۸۰۲
	تجربی	۱/۲۳۰	۱/۳۷۹	۱/۵۰۱	۱/۵۷۲	۱/۶۶۲	۱/۶۸۶	۱/۶۴۷	۱/۵۸۵

جدول ۲- عوامل فرونشانی سامانه $\text{NaI(Tl)}-\text{NE102}$ برای $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ با اکتیویته‌های متفاوت

زمان فعالسازی (min)	۸۴۰		۱۵۰		۳۰		۱۰
زمان شمارش (min)	۱۵۰	۱۰	۵۰	۱۰	۳۰	۵۰	۱۰
عامل فرونشانی	۱/۳۰۱	۱/۴۲۲	۱/۳۱۲	۱/۳۱۰	۱/۱۸۶	۱/۱۸۰	۱/۳۸۲



شکل ۸- مقایسه عوامل فرونشانی بدست آمده از شبیه سازی با نتایج تجربی برای چشمه‌ی ^{137}Cs ، بصورت تابعی از موقعیت آشکارساز NaI(Tl)

جدول ۳- مقایسه‌ی عامل فرونشانی سامانه $\text{NaI(Tl)}-\text{NE102}$ برای $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

فاصله NaI از مبدا (cm)		۱۲
عامل فرونشانی	F8 - Based MCNP	۱/۷۹۹
	PTRAC - Based MCNP	۱/۷۰۷
	تجربی	۱/۴۲۲



مراجع

- [۱] خباز، رحیم و همکاران. تعیین آهنگ گسیل مطلق نوترون به روش سامانه کالیبراسیون حمام سولفات منگنز. مقاله‌نامه کنفرانس فیزیک ایران (۱۳۹۱). ۲۰۴۱-۲۰۴۴.
- [۲] S. Landsberger et al. Use of coincident and non-coincident gamma-rays in Compton suppression neutron activation analysis. ۲۰۰۴. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. ۲۶۳, No. ۳ (۲۰۰۵) ۸۱۷-۸۲۱
- [۳] MCNPXTM USER'S MANUAL .Version ۲,۶,۰. April ۲۰۰۸
- [۴] A. T. Farsoni et al. A compton-suppressed phoswich detector for gamma spectroscopy. ۲۰۱۲. J Radioanal Nucl Chem (۲۰۱۳) ۲۹۶:۶۳-۶۸
- [۵] www.ornl.gov/ptp/PTP Library/library/ DOE/bnl/nuclidedata/MIRMn۰۶.htm