



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

بررسی فرونشانی کامپتون با استفاده از آشکارساز سوسوزن پلاستیکه روش تجربی و شبیه سازی

وحید، دوست محمدی : حامد، روحی : اسماعیل، بیات : حسن، عرب پور

^(۱) سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

^(۲) دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای، گروه کاربرد پرتوها

^(۳) دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه فیزیک

چکیده:

در اغلب سیستم های طیف نگاری گاما، جهت کاهش تابش زمینه از حفاظ غیر فعال نظیر سرب استفاده می شود. در برخی آزمایش ها جهت کاهش MDA، حفاظ فعال نظیر آشکارساز فرونشانی کامپتون نیز بکار گرفته می شود. پیوستار کامپتون ناشی از پرتوهای پرنرژی، امکان آنالیز قله های با شدت کم در نواحی کم انرژی را کاهش می دهند. با قراردادن آشکارساز فرونشانی نظیر NaI, BGO یا سوسوزن پلاستیک در اطراف آشکارساز اصلی و پیاده سازی مدار پاد همفرودی، سهم پیوستار در طیف کاهش می یابد. در این تحقیق از آشکارساز سوسوزن پلاستیک به عنوان فرونشانی و از $NaI(Tl)$ به عنوان آشکارساز اصلی استفاده گردید و پیوستار کاهش داده شد. علاوه بر این سیستم با کد $GATE 7$ شبیه سازی شد و نتایج آزمایش و شبیه سازی مقایسه گردید.

کلمات کلیدی: سوسوزن پلاستیک، آشکارساز NaI ، فرونشانی کامپتون، $GATE 7$ ، شبیه سازی

۱- مقدمه

به دلیل اینکه میزان تابش زمینه در MDA^1 سیستم تاثیر گذار می باشد، لازم است از حفاظ غیر فعال سرب در اطراف آشکارساز استفاده گردد. این امر در خصوص آنالیز چشمه های با اکتیویته پایین از اهمیت بالایی برخوردار است [۱]. در برخی آزمایش ها نظیر اندازه گیری های با احتمال پایین گذر، جهت کاهش بیشتر اثرات تابش های ناخواسته در طیف از حفاظ فعال استفاده می گردد [ii]. بخشی از تابش های ناخواسته ناشی از پیوستار کامپتون پرتوهای پر انرژی در نواحی کم انرژی می باشد که امکان آنالیز قله های با شدت کم در این نواحی را کاهش می دهد. برای کاهش پیوستار کامپتون آشکارسازهایی در اطراف آشکارساز اصلی

¹ - Minimum Detectable Activity



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

قرار داده می‌شود و با پیاده‌سازی مدار پاد هم‌فرودی سهم پیوستار را در طیف کاهش می‌دهند. آشکارسازهایی که به عنوان حفاظ به کار گرفته می‌شوند، اغلب چندین آشکارساز از نوع سوسوزن می‌باشند که هر کدام به یک PMT متصل می‌باشند. هر چند آشکارسازهای BGO و NaI از کارایی بالاتری برای به کارگیری به عنوان آشکارسازهای حفاظ برخوردارند اما با توجه به قیمت پایین پلاستیک، هنوز عنوان آشکارساز فرونشان کامپتون به کار گرفته می‌شود^[۱]. به طور کلی پس زمینه در طیف گاما ناشی از رادیواکتیویته‌ی طبیعی آشکارساز و سیستم های همراه آن، محیط اطراف و پرتوهای کیهانی می‌باشد که انتخاب مواد با رادیواکتیویته‌ی پایین در ساخت آشکارساز و وسایل اطراف آن می‌تواند برای مقابله با دو مورد اول کار آمد باشد^[۲]. تاکنون روش‌های گوناگونی به منظور فرونشانی کامپتون ارائه شده است که عبارتند از: فرونشانی با استفاده از گاما‌های کامپتون به روش غیر هم‌زمانی، فرونشانی با استفاده از گاما‌های هم‌زمان و فرونشانی با استفاده از آنالیز شکل پالس^[۳]، که در این تحقیق به بررسی فرونشانی کامپتون به روش غیر هم‌زمانی پرداخته شده است. در ابتدا مدار پاد هم‌فرودی و فرونشانی با استفاده از آشکارساز فرونشان بیان می‌گردد و پس از آن شبیه‌سازی این پدیده که با استفاده از کد 7 GATE صورت گرفته است، شرح داده خواهد شد و نتایج تجربی و شبیه‌سازی ارائه شده است.

۲- روش کار

در این آزمایش از آشکارساز NaI(Tl) با ابعاد ۲"×۲" ساخت شرکت Scionix به عنوان آشکارساز اصلی استفاده شد. جهت فرونشانی پیوستار کامپتون، از آشکارساز سوسوزن پلاستیک استفاده شد. این آشکارساز شامل ۸ بلوک سوسوزن پلاستیک با ابعاد ۱۵×۱۲×۱۲ cm³ می‌باشد که درون یک محفظه فلزی قرار دارند. جهت افزایش بازدهی جمع‌آوری نور، تمامی وجوه بلوک‌های سوسوزن به جز وجه متصل شده به لامپ تکثیرکننده فوتونی، با استفاده از رنگ بازتابنده TiO₂ پوشانده شده است. نور هر یک از سوسوزن‌ها به وسیله یک لامپ تکثیرکننده فوتونی مجزا جمع‌آوری می‌گردد. تصویر آشکارساز فرونشان از مقطع بالا در شکل ۱ نشان داده شده است. حفره میانی این آشکارساز محل قرارگیری آشکارساز NaI(Tl) می‌باشد.



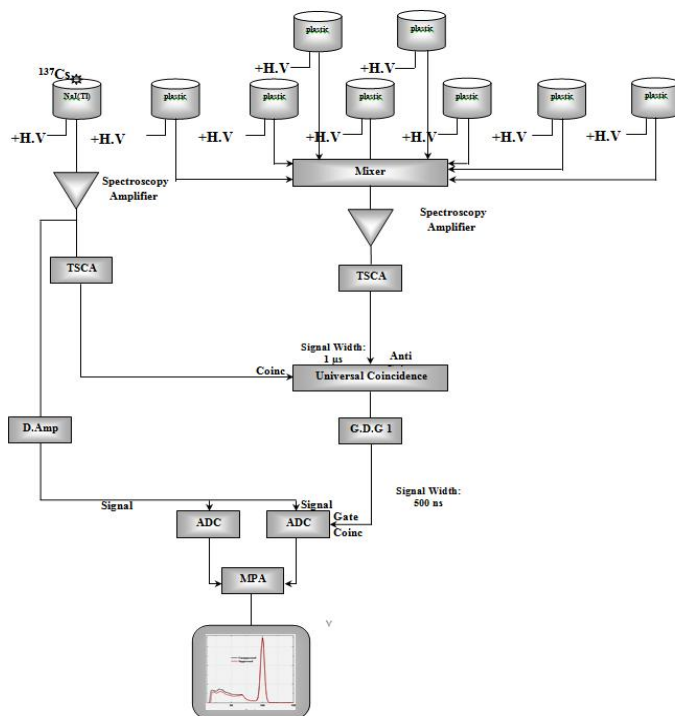
شکل ۱ تصویر آشکارساز فرونشان از مقطع بالا.



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

به منظور پیاده‌سازی مدار پاد همفرودی از مدار شکل ۲ استفاده گردید. در این مدار، سیگنال هشت سوسوزن پلاستیک با استفاده از ماژول Mixer ترکیب گردید و سیگنال حاصل به عنوان سیگنال آشکارساز فرونشان در نظر گرفته شد. به دلیل تفاوت بهره تقویت هر لامپ تکثیر کننده فوتونی، هر PMT با یک منبع تغذیه ولتاژ بالا به طور مجزا تغذیه گردید. خروجی آشکارساز فرونشان و آشکارساز مرکزی (NaI(Tl)) پس از تقویت به وسیله Spec.Amp، جهت زمان‌گیری به ماژول TSCA داده شد. خروجی TSCA مربوط به هر آشکارساز به ماژول Universal Coincidence داده شد. در ماژول Univesal، ورودی مربوط به آشکارساز NaI(Tl) در مد Coincidence و ورودی مربوط به آشکارساز فرونشان در مد Anti قرار داده شد. عرض پنجره همفرودی در این ماژول ۱ μsec تنظیم گردید. خروجی ماژول Universal به ماژول Gate& Delay Generator داده شد تا با سیگنال انرژی آشکارساز NaI(Tl) همزمان گردد.



شکل ۲ شماتیک مدار پاد همفرودی جهت فرونشانی پیوستار کامپتون

به منظور ارزیابی عملی آشکارسازها و مدار همزمانی، از چشمه ^{137}Cs با اکتیویته $1 \mu\text{Ci}$ استفاده شد. جهت شبیه‌سازی فرونشانی کامپتون از کد 7 GATE استفاده گردید. با استفاده از این کد مجموعه آشکارسازها مدل‌سازی شد و اطلاعات مکان، زمان و انرژی هر اندرکنش ثبت گردید. فاکتور فرونشانی (Suppression factor) که به اختصار با Sf نشان داده می‌شود، به صورت نسبت شمارش‌های



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

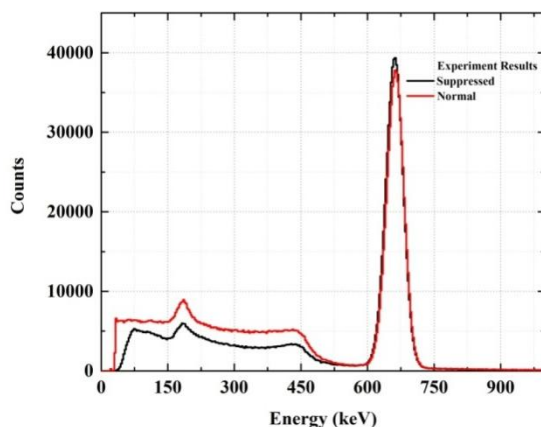
۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

پیک به کامپتون در حالتی که سیستم فرونشانی کامپتون به کار گرفته می شود به حالت نرمال است که با استفاده از رابطه ی زیر بیان می شود [vi].

این فاکتور به ازای قله 661.7 keV چشمه ^{137}Cs تعریف می گردد. در این رابطه P نشان دهنده شدت قله تمام انرژی و C میانگین شدت محدوده ی انرژی 358 keV تا 382 keV پیوستار کامپتون می باشد.

۲-۱- آزمایش فرونشانی کامپتون

به منظور انجام آزمایش، آشکارساز NaI(Tl) در حفره میانی آشکارساز فرو نشان قرار داده شد. چشمه ^{137}Cs در زیر آشکارساز NaI(Tl) قرار داده شد و آشکارساز در ارتفاع های مختلف نسبت به کف سوسوزن پلاستیک جابجا گردید. به ازای هر ارتفاع طیف نرمال و طیف فرو نشان ده شده برای مدت ۲ دقیقه ثبت گردید. در شکل ۳ نمونه ای از طیف نرمال و فرو نشان ده شده نشان داده شده است.



شکل ۳ طیف چشمه ^{137}Cs که در حالت نرمال و فرو نشان ده شده ثبت گردیده است

۲-۲- شبیه سازی فرونشانی کامپتون با استفاده از کد GATE

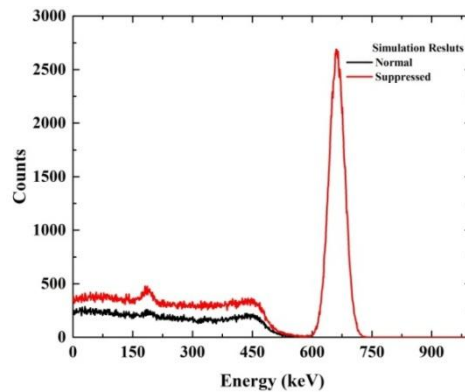
جهت شبیه سازی پدیده فرونشانی، هندسه آزمایش به طور دقیق شبیه سازی گردید. همانند آزمایش، آشکارساز NaI(Tl) در قسمت میانی آشکارساز فرو نشان در ارتفاع های مختلف قرار داده شد و طیف آشکارساز و اطلاعات مکان، زمان و انرژی هر اندرکنش ثبت گردید. پس از پایان شبیه سازی با استفاده از برنامه ای که در نرم افزار Matlab آماده شده بود، اطلاعات آشکارسازها پردازش گردید و پدیده های همفروود معین شد. وقایع همزمان به عنوان اندرکنش کامپتون در نظر گرفته شد و اطلاعات آن از طیف



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

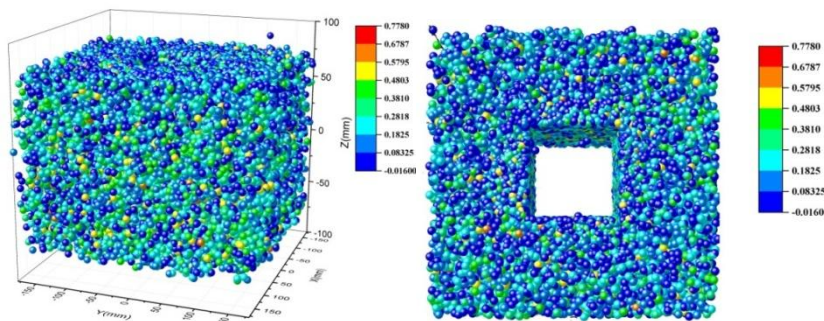
۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

حذف گردید. در شکل ۴ نمونه‌ای از طیف نرمال و فرونشاندن شده که با استفاده از شبیه‌سازی به دست آمد، نشان داده شده است.



شکل ۴ شبیه‌سازی فرونشانی پیوستار کامپتون چشمه ^{137}Cs با استفاده از کد GATE

همانطور که در شکل فوق مشخص است، پیوستار کامپتون طیف چشمه ^{137}Cs کاهش یافته است. اندرکنش‌هایی که در هر دو آشکارساز ثبت گردیده‌اند، به عنوان واقعه همزمان در نظر گرفته شده‌اند و قسمت پیوستار را کاهش داده‌اند. توزیع این اندرکنش‌ها در آشکارساز سوسوزن پلاستیک بر حسب انرژی در شکل ۵ آورده شده است. سمت چپ شکل ذیل، مربوط به نمایش اندرکنش‌ها از وجه جانبی آشکارساز می‌باشد و سمت راست، توزیع اندرکنش‌ها از مقطع فوقانی درون آشکارساز سوسوزن پلاستیک را نشان می‌دهد.



شکل ۵ توزیع مکانی اندرکنش‌های کامپتون درون آشکارساز سوسوزن پلاستیک بر حسب انرژی

۳- بحث و نتیجه‌گیری

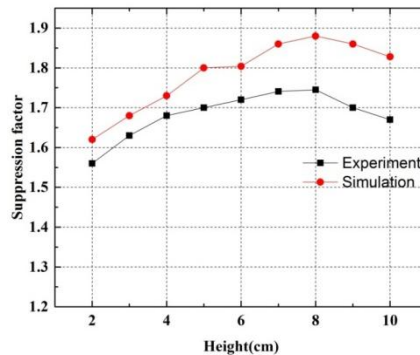
با پیاده‌سازی مدار پادهمفرودی بین دو آشکارساز NaI(Tl) به عنوان آشکارساز اصلی و آشکارساز سوسوزن پلاستیک به عنوان فرونشاندن، پیوستار کامپتون چشمه ^{137}Cs به خوبی کاهش یافت. همچنین شبیه‌سازی



بیست و یکمین کنفرانس هشتاد و یکم ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

این سیستم و بکارگیری اطلاعات اندرکنش‌ها سبب کاهش پیوستار گردید. با محاسبه فاکتور فرونشانی برای نتایج آزمایش و شبیه‌سازی نمودار شکل ۶ حاصل شد.



شکل ۶ فاکتور فرونشانی بر حسب ارتفاع آشکارساز NaI(Tl) از انتهای سوسوزن پلاستیک برای دو حالت شبیه‌سازی و آزمایش

همانطور که در نمودار فوق مشخص است رفتار صعودی و نزولی نتایج آزمایش و شبیه‌سازی همانند هم می‌باشد. از سوی دیگر حداکثر فاکتور فرونشانی در هر دو نمودار، در ارتفاع ۸ cm از انتهای سوسوزن پلاستیک رخ داده است.

تفاوت فاکتور فرونشانی آزمایش و شبیه‌سازی، ناشی از پراکندگی پرتو گاما از محیط پیرامون به سوی آشکارسازها، اثر تابش‌های زمینه در ایجاد همزمانی‌های ناخواسته و اثر ترابرد سوسوزن در آشکارساز سوسوزن پلاستیک می‌باشد. انتظار می‌رود با لحاظ کردن اثر هر یک از پارامترهای مطرح شده، اختلاف نتایج شبیه‌سازی و آزمایش به حداقل برسد.

در کار آینده اثر ترابرد نور درون آشکارسازها بر فرونشانی کامپتون بررسی خواهد شد.

۴- مراجع:

- i- G. Knoll, Radiation Detection and Measurement, Wiley, New York, 1989
- ii - B. Aspacher, R.L. Coldwell and A.C. Rester, Compton continuum suppression by digital pulse shape analysis, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A330, 1993, 243-253
- iii- Darwish. Al-Azmi, Simplified slow anti-coincidence circuit for Compton suppression systems, Applied Radiation and Isotopes 66, 2008, 1108-1116
- iv- Christopher Jordan Weaver, B.S., M.S.E. Development of PYRAMDS (Python for Radioisotope Analysis and Multi-Detector Suppression) Code Used in Fission Product Detection Limit Improvements with the DGF Pixie-4 Digital Spectrometer, 2011
- v- Raquel Gonza. Iz de Ordun˜a, Mikael. Hult, Erica. Andreotti, Pulse shape analysis to reduce the background of BEGe detectors, J Radioanal Nucl Chem, 2010
- vi- A. de Vismes, R. Gurriaran, X. Cagnat, Anti-Compton gamma spectrometry for environmental samples, Radioprotection, vol. 44, no. 5, 2009, p. 613-618