

بررسی تجربی ایجاد سیستم فرو نشان کامپتون با استفاده از آشکارسازهای بزرگ NaI(Tl)

زهرا هزاملی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده

سیستم‌های آنتی کامپتون بمنظور کاهش بخشی از اثرات زمینه در طیف‌های گامای نمونه‌های محیطی استفاده می‌شود. این سیستم‌ها با کاهش پیوستار کامپتون ناشی از قسمت پرنرژی تر طیف، تداخل و همپوشانی پیوستار با فوتوپیک‌های بخش کم‌انرژی طیف را کاهش داده و بموجب آن می‌توان به آنالیز کمی و کیفی بهتر دست یافت. سیستم طیف‌نگاری بکار رفته در این تحقیق، از آشکارساز طیف‌نگار HPGe، سیستم آنتی کامپتونی متشکل از ۴ آشکارساز NaI(Tl)، هر یک دارای ابعاد $11 \times 11 \times 4.3/5$ سانتی‌متر و سامانه الکترونیکی مدار زمانگیری به روش پادهمزمانی تشکیل شده است. نتایج اندازه‌گیری فاکتور فرونشانی (SF) با استفاده از چشمه ^{137}Cs برابر با $3/08$ حاصل شد که با نتایج پیش‌بینی شده به میزان $3/87$ توسط شبیه‌سازی کد مونت کارلوی MCNPX2,6 در توافق می‌باشد.

کلید واژه: Compton Suppression, MCNPX2,6, Gamma spectroscopy

مقدمه

افزایش توانمندی در تشخیص میزان کم رادیواکتیویته در نمونه‌های طبیعی، نیازمند بهبود کیفیت آشکارسازی و طیف‌نگاری گاما است [۱]. بخش زمینه موجود در طیف گاما شامل (۱) پرتوهای گامای حاصل از زنجیره واپاشی اورانیوم، تورنیوم و ^{40}K (۲) تابش‌های حاصل از رادیونوکلیدهای ساخت بشر مثل ^{137}Cs و ^{60}Co (۳) تابش‌های ناشی از برهمکنش پرتوهای کیهانی با آشکارساز گاما می‌باشند. زمینه ناشی از اورانیوم، تورنیوم و پتاسیم و آلودگی‌های انسانی و بخشی از تابش‌های کیهانی به طور موثری با بهره‌گیری از حفاظ سربی با ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر در اطراف آشکارساز، کاهش می‌یابند [۲]. کاهش بخش دیگر تابش‌های کیهانی با استفاده از سیستم‌های فرونشانی کامپتون امکان‌پذیر می‌باشد. این سیستم همچنین شناسایی پرتوهای گامای کم‌انرژی تولید شده توسط رادیونوکلیدهای خاص بویژه ایزوتوپ‌های عناصر فوق اورانیوم (^1TRU) را ممکن می‌سازد. در حالی که اغلب در حضور رادیونوکلیدهای با پرتوهای گامای پرنرژی و دارای سهم بالای برهمکنش کامپتون به سختی قابل رؤیت هستند.

کاهش زمینه کامپتون با استفاده از آشکارساز اولیه^۱ (PD) محاط شده در آشکارساز دیگر^۲ (SD) انجام می- پذیرد. این آشکارسازها در مدهای زمانی «همزمانی» یا «پادهمزمانی» عمل می‌کنند[۳]. آشکارساز فرونشان بایستی دارای چگالی و عدد اتمی بالایی باشد تا احتمال اندرکنش گاماهاى پراکنده شده کامپتون گریخته از آشکارساز اولیه با آن افزایش یابد. همچنین ابعاد این آشکارساز به اندازه‌ای باشد که حجم وسیعی از آشکارساز اصلی را بپوشاند. آشکارسازهای حفاظ (SD) می‌توانند از نوع گازی یا سوسوزن باشند که در این بین، آشکارسازهای پلاستیک، NaI(Tl) و BGO بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند[۲]. استفاده از آشکارساز یدور سدیم حلقوی با حجم بزرگ و بعدها BGO برای فرونشانی رویدادهای پراکندگی کامپتون در آشکارسازهای ژرمانیوم دارای سابقه تاریخی چندین دهه است. در این حالت آشکارساز ژرمانیوم به وسیله کریستال سوسوزن بزرگی که پرتوهای گامای کامپتون پراکنده شده از آشکارساز ژرمانیوم را آشکار می‌کند، احاطه می‌شود[۴]. فاکتور شایستگی^۳ (FOM) مورد نیاز برای مقایسه سیستم‌های مختلف فرونشان کامپتون تحت عنوان فاکتور فرونشانی^۴ (SF)، بیان می‌شود. بدین منظور از رادیویزوتوپ ^{۱۳۷}Cs که دارای پرتوی گامای منفرد با انرژی ۶۶۱/۷keV می‌باشد استفاده می‌شود. این فاکتور فرونشانی از نسبت پیک به کامپتون (P/C) در نواحی مختلف پیوستار کامپتون این چشمه در دو حالت با و بدون فرونشانی کامپتون بدست می‌آید. این نواحی انرژی شامل ۳۵۸-۳۸۲keV مربوط به پیوستار کامپتون (C_{pi}) و ۴۷۵-۴۸۱keV متعلق به لبه کامپتون (C_e) است. نحوه محاسبه فاکتور فرونشانی مطابق با رابطه زیر می‌باشد[۲و۳].

$$SF = \frac{(P/C)_{suppressed}}{(P/C)_{unsuppressed}}$$

بمنظور بررسی تأثیر سیستم فرونشان کامپتون بر طیف گامای حاصل از نمونه‌های محیطی می‌توان حداقل فعالیت قابل تشخیص^۵ (MDA) با بهره‌گیری از این سیستم آشکارسازی را در دو حالت فرونشاندن شده و فرونشاندن نشده بدست آورد.

در این تحقیق، قابلیت سامانه فرونشان کامپتون شامل طیف‌نگار HPGe که با چهار آشکارساز NaI(Tl) از اطراف احاطه شده است، بطور تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به توانمندی کد مونت کارلوی MCNPX^{۲,۶} در شبیه‌سازی فرآیند پادهمزمانی، امکان شبیه‌سازی سیستم فرونشان کامپتون وجود دارد و این

^۱ Primary Detector

^۲ Secondary Detector

^۳ Figure Of Merit

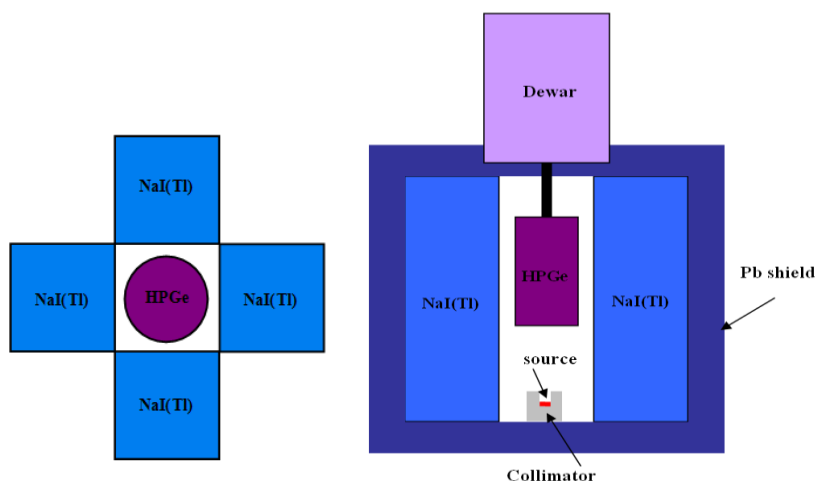
^۴ Suppression Factor

^۵ Minimum Detectable Activity

امر در مورد این سیستم فرو نشان کامپتون انجام گردید. شرح این شبیه سازی و نتایج آن به دلیل دارا بودن نکات ارزنده و لزوم تشریح کامل آنها، در مقاله دیگری در دست تألیف می باشد.

روش کار

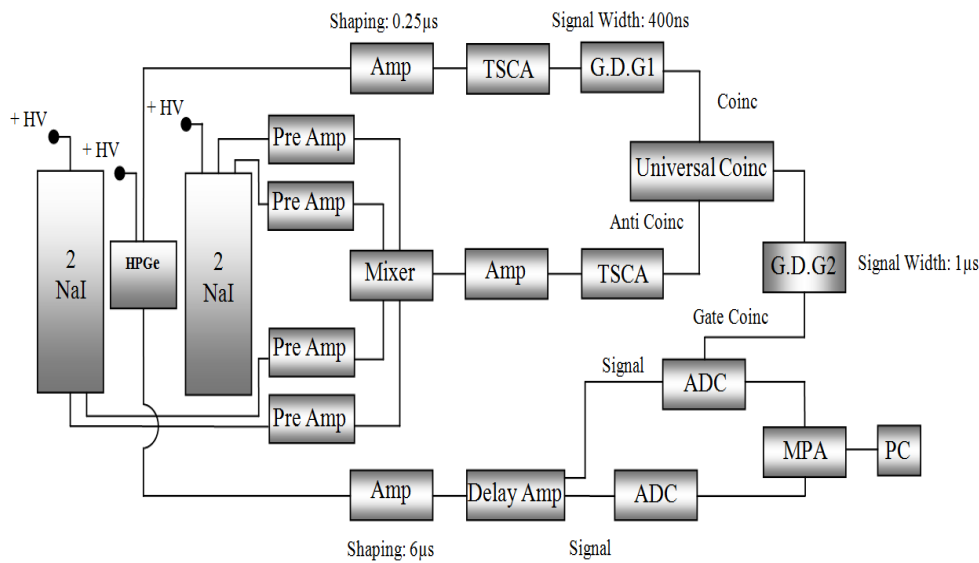
سیستم فرو نشان کامپتون بکار رفته در این تحقیق، شامل آشکارساز اولیه HPGe با بازدهی ۲۵ درصد و ۴ آشکارساز ثانویه NaI(Tl) می باشد. آشکارسازهای NaI(Tl) هر یک دارای ابعاد $11 \times 11 \times 4.3/5$ سانتی متر می باشند و به گونه ای در اطراف آشکارساز HPGe قرار گرفته اند که بیشترین فضای اطراف آن پوشش داده شود. در شکل ۱ طرح شماتیک این چیدمان مشاهده می شود.



شکل ۱ (راست) نمای جانبی، (چپ) نمای فوقانی چیدمان فرو نشان کامپتون HPGe-۴NaI(Tl)

همانطور که در شکل ۱ دیده می شود جهت ارزیابی عملکرد این سامانه، چشمه نقطه ای ^{137}Cs با اکتیویته $1 \mu\text{Ci}$ در فاصله ۲۲ سانتی متری نسبت به مرکز آشکارساز قرار داده شد تا آهنگ شمارش و زمان مرده سیستم مناسب باشد. همچنین به منظور جلوگیری از برخورد مستقیم پرتوهای حاصل از چشمه به آشکارسازهای حفاظ (NaI(Tl)) که منجر به افزایش تعداد همفرودهای تصادفی در مدار زمانگیری می شود، چشمه درون موازی-ساز سربی به طول ۲ سانتی متر و قطر دهانه ۱ سانتی متر قرار گرفت. ابعاد این موازی ساز با توجه به اثرات پراکندگی از لبه و تاثیر آن بر افزایش شمارش در ناحیه اول طیف گاما، بطور تجربی بهینه شد. ابعاد بزرگ و بازدهی بالای آشکارسازهای حفاظ NaI(Tl) منجر به ثبت تعداد زیادی از پرتوهای گامای حاصل از محیط پیرامون این آشکارسازها می گردد، بنابراین سیستم فرو نشان کامپتون از اطراف با دیواره ای از آجرهای سربی با ضخامت ۵ سانتی متر احاطه شد. بدین ترتیب بطور قابل ملاحظه ای از آمار شمارش های ثبت شده توسط

آشکارسازهای حفاظ کاسته می‌شود. بلوک دیاگرام مدار الکترونیک بکار رفته در این تحقیق پس از بررسی تجربی انواع مدارات، ماژول‌ها و سیستم‌های همزمانی حاصل گردیده که مطابق با شکل ۲ می‌باشد. در این مدار خروجی داینود آشکارسازهای حفاظ NaI(Tl) پس از تقویت اولیه و تطبیق امپدانس در پیش تقویت‌کننده به ماژول Mixer وارد می‌شوند. این ماژول سیگنال حاصل از پیش تقویت‌کننده‌ها را جمع کرده و به تقویت‌کننده ارسال می‌نماید.



شکل ۲ بلوک دیاگرام مدار الکترونیک سامانه HPGe-εNaI(Tl)

زمان شکل‌دهی پالس در تقویت‌کننده HPGe برای بخش زمانی مدار $0.25 \mu s$ و برای بخش مربوط به انرژی در $6 \mu s$ نظر گرفته شد. از ماژول TSCA جهت زمانگیری استفاده شد. از آنجایی که سیگنال‌های زمانی حاصل دارای عرض $500 ns$ می‌باشند، از ماژول G.D.G1 در این مدار استفاده شده و عرض سیگنال خروجی مربوط به آشکارساز اولیه (HPGe) به $400 ns$ تغییر داده می‌شود. این سیگنال زمانی تغییر یافته به ورودی ماژول U.C^۱ در مد همزمانی و خروجی TSCA مربوط به آشکارساز حفاظ NaI(Tl) به مد پاد همزمانی آن وارد می‌شوند. پس از برخی اندازه‌گیری‌ها و بررسی نتایج، تفکیک زمانی^۲ بهینه به میزان $1 \mu s$ جهت مدار انتخاب گردید. در شرایطی که هر دو سیگنال ورودی در تفکیک زمانی تعیین شده قرار گیرند بدین معنی است که پرتوهای دریافت شده در آشکارسازهای حفاظ، پرتوهای کامپتون گریخته از آشکارساز اولیه اند و بنابراین ماژول U.C خروجی نخواهد داشت. در ادامه مدار، خروجی ماژول U.C پس از همزمانی با سیگنال انرژی

^۱ Gate and Delay Generator

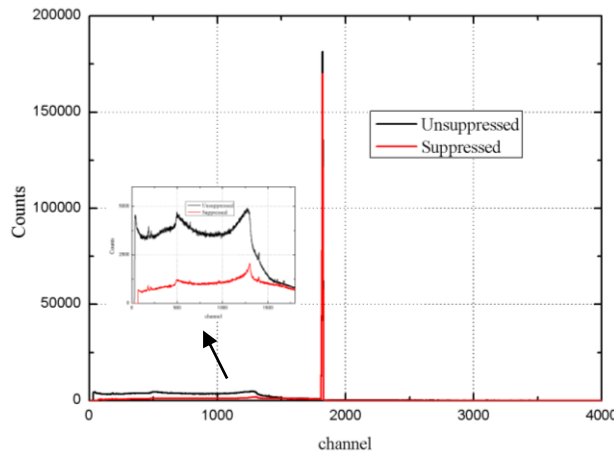
^۲ Universal Coincidence

^۳ Resolving Time

حاصل از آشکارساز اولیه (HPGe) به کمک ماژول G.D.G² و تقویت کننده تأخیری (D.Amp)، به بخش دروازه زمانی^۱ ماژول مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC) در مد همفرودی وارد می شود. لذا پالس های انرژی آشکارساز HPGe در صورتی که پالس های زمانی آن با آشکارسازهای پیرامونی همزمان نباشند، ثبت می گردند.

نتایج

طیف های مربوط به چشمه نقطه ای ^{۱۳۷}Cs بدست آمده از این سامانه در دو حالت فرونشانده شده و نشده که برای مدت زمان ۱۵ ساعت ثبت گردیده در شکل ۳ قابل رؤیت است. فاکتورهای فرونشانی کامپتون برای نتایج تجربی در جدول ۱ نشان داده شده است. پس از بررسی و تعیین فاکتورهای فرونشانی، چشمه ^{۱۳۷}Cs از مقابل آشکارساز برداشته شد و طیف گامای زمینه برای مدت ۱۵ ساعت ثبت گردید. نتایج حاصل از این اندازه گیری در شکل ۴ مشاهده می شود.

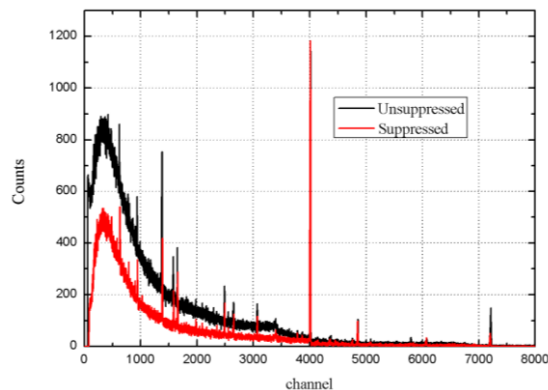


شکل ۳ طیف تجربی فرونشانده شده و فرونشانده نشده ^{۱۳۷}Cs با استفاده از سامانه فرو نشان کامپتون HPGe-⁴NaI(Tl)

جدول ۱ مقایسه فاکتورهای فرونشانی بدست آمده بصورت تجربی برای دو محدوده لبه و پیوستار کامپتون طیف چشمه ^{۱۳۷}Cs

نوع روش	SF _{pl}	SF _e
تجربی	۳/۰۸	۲/۴۱

^۱ Gate



شکل ۴ طیف فرونشاندۀ شده و فرونشاندۀ نشده زمینۀ

بحث و نتیجه گیری

شبیه‌سازی این سامانه، فاکتورهای فرونشانی SF_{pl} و SF_e را به ترتیب $۳/۸۷$ و $۲/۶۹$ تعیین نمود [۵]. تفاوت حاصل را می‌توان ناشی از حضور پرتوهای گامای محیط پیرامون سیستم فرو نشان از جمله زمینۀ ناشی از دیواره سربی چیده شده دانست که باعث ایجاد هم‌فرویدی‌های تصادفی و عدم عملکرد صحیح سیستم فرو نشان تجربی در مقایسه با نتایج محاسبات شبیه‌سازی می‌شود. همچنین با توجه به اینکه سیستم فرو نشان کامپتون بکار رفته قابلیت پوشش تمامی فضای اطراف طیف‌نگار HPGe را ندارد، لذا چنانچه پرتوهای گامای کامپتون در زوایای پوشانده نشده پراکنده شوند در سیستم فرو نشان کامپتون بدام نیفتاده و از طیف حذف نمی‌شوند. بنابراین می‌توان با انتخاب سیستمی که تمامی فضای اطراف آشکارساز طیف‌نگار HPGe را بپوشاند به فاکتورهای فرونشانی بیشتری دست یافت. بکارگیری سیستم‌های فرو نشان کامپتونی در بهبود نتایج بدست آمده از طیف نمونه‌های محیطی نقش بسزایی خواهند داشت و به تشخیص رادیونوکلیدهای با انرژی کمتر در نمونه کمک شایان توجهی خواهد نمود.

مراجع

- [۱] A. de Vismes, R. Gurriaran and X. Cagnat . Anti-Compton spectrometry for environmental samples. Radioprotection, vol.۴۴, ۶۱۳-۶۱۸, ۲۰۰۹
- [۲] J. Parus, J. Kierzek, W. Raab, D. Donohue. A dual purpose Compton suppression spectrometer. Journal of Radiation and Nuclear Chemistry, vol. ۲۵۸.No. ۱, ۱۲۳-۱۳۲, ۲۰۰۳
- [۳] W. Scates, J.K. Hartwell, R. Aryaeinejad, M.E. McIlwain. Optimization studies of a Compton suppression spectrometer using experimentally validated Monte Carlo simulations. Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A ۵۵۶, ۴۹۸-۵۰۴, ۲۰۰۶
- [۴] I. Bikit, J. Slivka, M. Krmar, Z. Durcic, N. Zikic, Lj. Conkic, M. Veskovic, I. Anicin. Detection limits of the NaI(Tl) shielded HPGe spectrometer. Nuclear Instrument and Methods in Physics Research A ۲۴۱, ۲۶۶-۲۷۱, ۱۹۹۹
- [۵] مقایسه انواع آشکارسازها در میزان فرونشانی کامپتون یک طیف‌نگار HPGe با استفاده از کد MCNP، زهرا هزّامی و دیگران، تحت تألیف