شبیه سازی مونت کارلوی پاسخ سوسوزنهای NaI و پلاستیک در میدانهای مخلوط $\gamma+\beta$

صالح اشرفی، سید محسن اعتصامی
دانشگاه تبریز، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته ای

چکیده:

برای تعیین رادیواکتیویته موجود در نمونه های محیطی ازدو آشکار ساز سوسوزن NaI و پلاستیک جهت طیف سنجی همزمان β و γ استفاده کرده ایم. سیگنالهای خروجی دو آشکارساز در صورت همزمانی توسط تحلیلگر ذخیره می شود. با استفاده از این روش اثر تابشهای زمینه در اندازه گیریها کاهش یافته وحداقل اکتیویته قابل اندازه گیری (MDA) اسپکترومتربه مقدار $2.0\ \frac{Bq}{kg}$ می رسد. برای تعیین رادیواکتیویته نمونه از طیف گامای تجربی راندمان آشکار سازی دو سو سوزن $\varepsilon_\beta, \varepsilon_\gamma$ باید معلوم شوند. در این کار با شبیه سازی مونت کارلوی پاسخ دو سوسوزن در میدان مخلوط $\beta+\gamma$ مقادیر راندمان را برای چشمه های نقطه ای و حجمی بدست آورده ایم. طیف انرژی اشعه β ناشی از سه مولفه: اشعه β، γو الکترونهای تبدیل داخلی است. در شبیه سازی سهم هر یک از این سه مولفه دقیقا تعیین شده است. برای شبیه سازی از کد GEANT4.6.2ستفاده کرده ایم.

کلید واژه: شبیه سازی مونت کارلو،طیف سنجی گاما، سوسوزنهای پلاستیک، $GEANT4، \beta-\gamma\ Coincidence$

مقدمه :

یکی از روشهای کاهش تابشهای زمینه در اندازه گیری اکتیویته نمونه‌های طبیعی، استفاده از حفاظ فعال [۲] می‌باشد. در این روش، نمونه مورد نظر حاوی رادیوایزوتوپی است که به طور همزمان اشعه γ و ذرات β گسیل می‌کند، و هر یک از آنها توسط آشکار ساز جداگانه‌ای ثبت می‌شوند . پالس خروجی دو آشکارساز به مدار همزمانی ارسال می‌گردد و تنها در صورتیکه سیگنالهای دریافتی از دو آشکارساز همزمان باشند، طیف اشعه γ ذخیره می‌شود.

در اسپکترومتر AT1315 [۳] ، اشعه γ توسط سوسوزن NaI و اشعه β توسط سوسوزن پلاستیک آشکار می شود و مدار همزمانی $\beta-\gamma$ به عنوان حفاظ فعال عمل می‌کنند. علاوه بر آن یک دیواره سربی (حفاظ غیر فعال) به ضخامت ۵ سانتی‌متر نیز دو آشکارسازرا احاطه نموده است. در نتیجه تأثیر تابشهای زمینه در طیف سنجی نمونه‌ها به حداقل رسیده و حداقل اکتیویته قابل اندازه گیری سیستم (MDA) تا حد زیادی کاهش می‌یابد.

از آنجا که سوسوزنهای پلاستیک علاوه بر الکترونها به فوتونهای γ نیز حساس می‌باشند ، طیف حاصله از این سوسوزنها ترکیبی از پاسخ سوسوزنها به اشعه β ، الکترونهای تبدیل داخلی و γ می‌باشد. هر چند سهم

اشعه γ در طیف حاصله به علت پائین بودن سطح مقطع اندرکنش فوتونها با ماده پلاستیک کم می‌باشد [۱] ولی برای محاسبه دقیق راندمان آشکارسازی اسپکترومتر لازم است راندمان آشکارسازی اشعه β در پلاستیک، ε_β ، با در نظر گرفتن اندرکنش γ با پلاستیک و الکترونها ی تبدیل داخلی تصحیح شود. برای این منظور اندرکنش الکترونها و اشعه γ با سوسوزنهای پلاستیک و NaI به روش مونت کارلو و با استفاده از کد GEANT4.6.2 [٤] شبیه سازی شده است. فرایندهای فیزیکی شامل: پراکندگی کامپتون، فوتوالکتریک، پراکندگی چند گانه، یونیزاسیون، تابش ترمزی، و نابودی و تولید زوج توسط بسته های نرم افزاری تعبیه شده در GEANT4.6.2 برای شبیه سازی اندرکنش فوتونها و الکترونها با سوسوزن به کار گرفته شده است. طیف‌های شبیه سازی شده برای دو سوسوزن در محدوده وسیعی از انرژی ذرات آشکار شده با طیف‌های تجربی تطابق کاملی دارند. تجزیه و تحلیل این طیف‌ها سهم اشعه β , γ و الکترونهای تبدیل داخلی (CE) را در طیف حاصله دقیقاً معلوم ساخته و امکان محاسبه راندمان آشکارسازی β را فراهم می‌سازد. همچنین با شبیه سازی اندرکنش فوتونهای γ با بلور NaI و با تطبیق نتایج تجربی و شبیه سازی، راندمان آشکارسازی γ نیز در انرژیهای مختلف بدست آمده است. مقادیر ε_γ , ε_β بدست آمده برای محاسبه MDA سیستم AT1315 مورد نیاز می‌باشد.

روش و وسایل طیف سنجی :

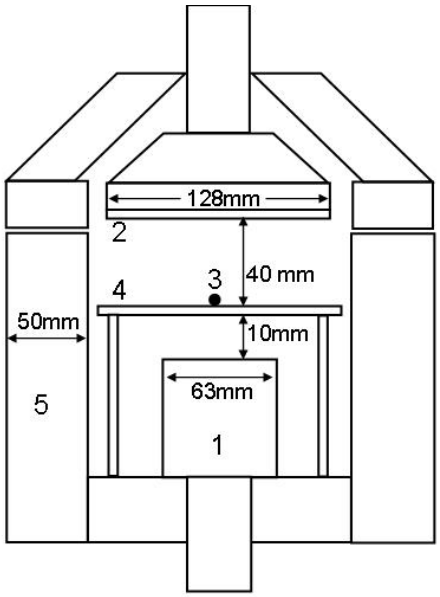
اسپکترومتر مورد استفاده برای اندازه گیری طیف گامای نمونه‌های رادیو اکتیو، اسپکترومتر AT1315 ساخت شرکت ATOMTEX می‌باشد. این اسپکترومتر مطابق شکل (۱) از یک سوسوزن NaI برای آشکارسازی اشعه γ و یک سوسوزن پلاستیک برای آشکار سازی اشعه β و الکترونها تشکیل شده است . سوسوزن پلاستیک استوانه‌ای به ابعاد Ø128x8mm بوده و جنس آن Polystyerene فعال شده باParaterphenyl می‌باشد. سوسوزن NaI استوانه‌ای به ابعاد Ø63x63mm می‌باشد. این طیف سنج می‌تواند اشعه γ را در محدوده انرژی 50 keV - 3.0 MeV و اشعه β را در محدوده انرژی 150 keV - 3.5 MeV آشکار نماید. حداقل اکتیویته قابل اندازه گیری (MDA) این سیستم در مدت زمان سه ساعت برابر با $2.0\ \frac{Bq}{kg}$ بوده و حساسیت آن برای محلول ^{137}Cs، $8.40(1.68) \times 10^{-2}\ {}^{(counts/s)}/_{(Bq/lit)}$ می‌باشد.

در انرژی $E_\gamma = 662\ keV$ قدرت تفکیک انرژی سوسوزن NaI، 9.5% ≥ بوده، و بیشترین آهنگ شمارش آن حدود $10^4\left(\frac{counts}{s}\right)$ می‌باشد. سیگنال خروجیNaI در صورت همزمان بودن با یک سیگنال خروجی سوسوزن پلاستیک توسط یکMCA با 1024 کانال طبقه بندی شده و در کامپیوتر به صورت طیف گاما ذخیره می شود. نمونه‌های مورد اندازه گیری معمولاً حاوی رادیو نوکلئیدهای طبیعی هستند که از خودشان اشعه β , γ گسیل می‌کنند. از اینرو برای تعیین راندمان دقیق آشکارساز β، می‌بایست اثر برخورد اشعه γ به

پلاستیک را در نظر گرفت. وابستگی سطح مقطع فوتوالکتریک به عدد اتمی ماده آشکار ساز و انرژی فوتونهای γ بصورت زیر می‌باشد [۱] :

$$\sigma_{photo} \sim 1/(E_\gamma)^n \quad , \quad \sigma_{photo} \sim z^n, \quad 3 \leq n \leq 5 \qquad (۱)$$

به علت پائین بودن چگالی و عدد اتمی (z) سوسوزنهای پلاستیک ، اثر فوتوالکتریک، مگر در انرژیهای پائین ، قابل مشاهده نخواهد بود. برای انرژی کمتر از 1 MeV عمده‌ترین اندرکنش ، پراکندگی کامپتون می‌باشد.



شکل1 : طیف سنج AT1315

1 NaI scintillator
2 plastic scintillator
3 pint source
4 holder
5 Pb shield

شبیه سازی :

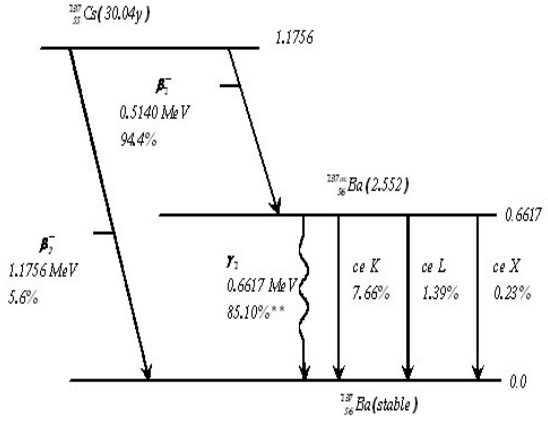
برای شبیه سازی پاسخ سوسوزنهای NaI و پلاستیک در میدان مخلوط β, γ و الکترونهای IC از کد GEANT4 استفاده کردیم. این کد امکانات شبیه سازی اندرکنش ذرات و فوتونها را با مواد در محدودهٔ وسیعی از انرژی 40 keV - 10 TeV فراهم می‌سازد و قابلیت‌های زیادی در زمینه تعریف اشکال مختلف آشکارسازها و بصری نمودن مسیر ذرات در داخل آنها دارد . در شبیه سازی پاسخ سوسوزنها به فوتونها و الکترونهای گسیل شده از یک چشمه ^{137}Cs نقطه‌ای ، توزیع انرژی الکترونها مطابق قاعده طلایی فرمی بصورت معادله (۲) در نظر گرفته شده [۳] :

$$N(T_B) = K(T_\beta^2 - 2T_\beta m_e c^2)^{\frac{1}{2}}(Q - T_\beta)^2(T_\beta + m_e C^2) \qquad (۲)$$

که در آن T_B انرژی جنبشی ذرات β و Q بیشترین انرژی آنها برحسب MeV می‌باشند. K یک ثابت است. علاوه بر این ، یک ضریب تصحیحی به خاطر برهمکنش کولنی بین ذرات β و هسته دختر که به تابع فرمی مشهور است [۵] بصورت زیر در نظر گرفته‌ایم .

$$F(z,p_\beta)=\frac{2\pi\eta}{1-e^{-2\pi\eta}} \quad , \qquad \eta=\frac{\pm Ze^2}{4\pi\varepsilon_\circ\hbar v} \qquad (۳)$$

که در آن V سرعت نهایی الکترون در فاصله دور از هسته و Z عدد اتمی هسته دختر می‌باشد. توزیع زاویه‌ای الکترونهای خارج شده از هسته، ایزوتروپیک در نظر گرفته شده است. شکل (۲) مدهای مختلف یک هسته به عنوان مثال ^{137}Cs را نشان می‌دهد [٦].



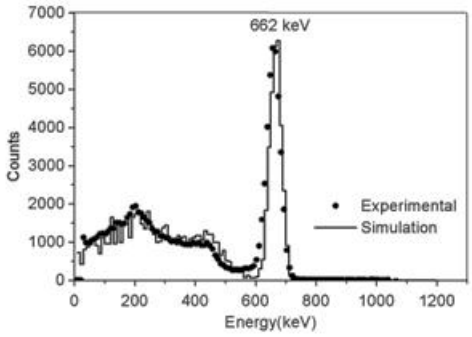
شکل۲: طرح واپاشی ^{137}Cs

در شبیه سازی تنوع ذرات گسیل شده و شدت مدهای مختلف و اپاشی مطابق اطلاعات موجود در شکل (۲) بکار گرفته شده است. کمیت مورد علاقه، انرژی بر جای مانده در ماده سوسوزن در اثر برخورد تابشها می‌باشد. برنامه GEANT4 انرژی به جا مانده را با شبیه سازی حرکت ذرات و فوتونها در حجم حساس دتکتور وبا محاسبه میزان اتلاف انرژی بطور دقیق محاسبه می کند. برای بدست آوردن طیف انرژی فوتونها و ذرات اولا فرض کردیم راندمان انرژی به جای مانده به نور مرئی در تمام قسمتهای بلور NaI وسوسوزن پلاستیک یکنواخت می باشد، ثانیا این تبدیل انرژی به نور در محدوده انرژی های مورد مطالعه خطی می باشد. نهایتا برای مقایسه طیفهای شبیه سازی شده با طیف تجربی قدرت تفکیک سوسوزنها را که به صورت زیر به انرژی به جامانده مربوط می شود در طیفهای شبیه سازی شده اعمال کردیم [٤].

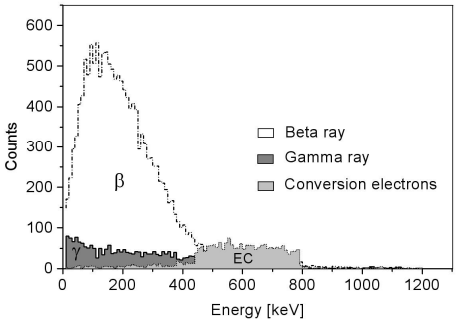
$$R=\frac{\Delta E}{E}\propto\frac{1}{\sqrt{E}} \qquad (٤)$$

نتایج وبحث:

شکل (۳) طیف شبیه سازی شده و تجربی سوسوزن NaI را نشان می دهد. طیف نشان داده شده به فوتونهای 0.662 MeV یک چشمه نقطه ای ^{137}Cs مربوط می شود. پوشش آلومینیومی سوسوزن NaI آنقدر



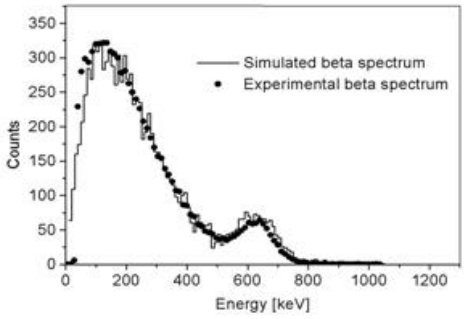
شکل (۳) پاسخ سوسوزنNaI برای فوتونهای 662 keV



شکل (٤) پاسخ سوسوزن پلاستیک برای اشعهβ،γ والکترونهایCE

ضخیم است که کاملا مانع نفوذ ذرات $\boldsymbol{\beta}$ به این آشکارساز می شود . تطابق بسیار خوبی بین طیف گامای شبیه سازی شد ه و تجربی در محل فوتوپیک و لبه کامپتون و قله پس پراکندگی دیده می شود.

شکل (٤) پاسخ سوسوزن پلاستیک به اشعه $\boldsymbol{\gamma}$، $\boldsymbol{\beta}$ و الکترونهای تبدیل داخلی را به تفکیک نشان می دهد . با توجه به طرح واپاشی $^{137}\boldsymbol{Cs}$ شکل(۲) ،بیشترین مقدار انرژی اشعه، $\boldsymbol{T_{\beta,max}}$، در قویترین شاخه (94.4%) برابر با 0.514 MeV می باشد.الکترونهای تبدیل داخلی دارای انرژی $T_{CE} = 0.662$ MeV می باشند.مهمترین بخش پاسخ سوسوزن مربوط به اشعه $\boldsymbol{\beta}$ می باشد و سهمی در حدود75% را به خود اختصاص می دهدوپس از آن اندرکنش فوتونهای گاما والکترونهای تبدیل داخلی با سوسوزن پلاستیک به ترتیب 15% و10% از پاسخ سوسوزن را تشکیل می دهند. همانگونه که در شکل (٥) دیده می شود، طیفهای شبیه سازی شده و تجربی اشعه $\boldsymbol{\beta}$در تمام محدوده انرژی اشعه $\boldsymbol{\beta}$از نظر ساختار و مقدار تطابق خوبی را نشان می دهند. محل انرژی $\boldsymbol{T_{\beta,max}}$و$T_{CE}$ در طیف شبیه سازی انطباق کامل با مقادیر تجربی دارند.



شکل (٥) پاسخ شبیه سازی شده و تجربی سوسوزن پلاستیک

یکی از شاخصهای مهم برای سیستمهای اندازه گیری اکتیویته MDA می باشد. MDA کمترین مقدار اکتیویته ای است که یک سیستم اندازه گیری با اطمینان 95% می تواند اندازه گیری کند.در مورد اسپکترومتر AT1315، برای تعیین مقدار دقیق MDA می بایست راندمان آشکار سازی سوسوزنهای پلاستیک و NaI را بدانیم.محاسبه و اندازه گیریی راندمان آشکار سازی اشعه γ توسط NaI با تعیین شمارشهای زیر فوتوپیک امکان پذیر است.ولی برای تعیین راندمان اشکارسازی β، مخصوصا در میدانهای مخلوط γ و β می بایست سهم هرکدام از تابشها در طیف حاصله تعیین شوند. نتایج شبه سازی شکل(٤) سهم اندرکنش γ، β و الکترونهای Ce را نشان می دهد. مدلی که در برنامه GEANT4 برای هر یک از سوسوزنها ساخته شده است امکان محاسبه ε_β و ε_γ را برای هر چشمه دلخواهی فراهم می سازد.

مراجع

[۱]- کوهی هادی زاده یزدی،رحیم.۱۳۷۱.اندازه گیری وآشکارسازی تابشهای هسته ای(ترجمه).انتشارات کتابستان مشهد

[2]-Knoll,G.F.1999.Radiation detection and measurement. Jon Wiley and Sons, Inc.

[3]- Manual of Gamma Beta Radiation Spectrometer AT1315.

[4]- Geant4 Home Page,http://www.cern.ch/geant4.

[5]- Kenneth, S.Krane. 1988,Introductory Nuclear Physics,John Wiley &Sons.

[6]- Segre Emilio.1977.Nuclei and particles,the Benjamin,cumming publishing company,inc.

[7]- Martin, j.E.1934,Physics for Radiation Protection. Awiley-interscience publication.