



محاسبه و مقایسه تابع پاسخ غیر خطی و قدرت تفکیک آشکارسازهای $NaI(Tl)$ و $CsI(Tl)$

ابراهیمی خانکوک، عطیه* - وجدانی نقره ئیان، علیرضا-عمارلو، محمد-درودی، محمد

دانشگاه نیشابور، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

اطلاع از تابع پاسخ آشکارسازهای سوسوزن در صحت نتایج حاصل از شبیه سازی دقیق مونت کارلو سیستم های آنالیز گام‌های آنی و تاخیری بسیار حائز اهمیت است. از طرفی، یکی از عوامل تاثیر گذار بر تابع پاسخ این نوع آشکارسازها نوع کریستال و ناخالصی موجود در آن است. هدف از این تحقیق بررسی و مقایسه تابع پاسخ غیر خطی آشکارسازهای $NaI(Tl)$ و $CsI(Tl)$ می‌باشد. اندازه گیری تابع پاسخ با استفاده از طیف نگاری گاما با چشمه‌های استاندارد و اندازه گیری پهنای قله ها در نصف ارتفاع بیشینه صورت گرفته است. برای بررسی صحت نتایج حاصل از آزمایش از شبیه سازی با استفاده از کد مونت کارلو $MCNP-4C$ استفاده شده است. مقایسه‌ی طیف‌های تجربی و شبیه‌سازی شده همخوانی قابل قبولی را نشان می دهند که مبین صحت تابع پاسخ محاسبه شده است. در ادامه اثر نوع کریستال بر تابع پاسخ آشکارساز و قدرت تفکیک سوسوزن بررسی شده است. نتایج نشان دهنده تأثیر جنس کریستال سوسوزن بر تابع پاسخ و قدرت تفکیک انرژی می باشد. همچنین اختلاف پیوستار کامپتون در دو آشکارساز، به‌علت چگالی‌های متفاوت و عدد اتمی متفاوت، با مقایسه نمودارها به خوبی مشاهده می‌شود.

کلمات کلیدی: تابع پاسخ، آشکارساز $NaI(Tl)$ آشکارساز $CsI(Tl)$. $FWHM$. قدرت تفکیک، کد $MCNP$

مقدمه :

آشکارسازی و اندازه‌گیری تابش از مهمترین مباحث فیزیک هسته‌ای محسوب می‌شوند. در چند دهه اخیر ابزارهای گوناگون به‌منظور آشکارسازی و اندازه‌گیری ذرات گسترش یافته‌اند که آشکارسازهای سوسوزن از جمله وسایل کاربردی جهت این امر به‌شمار می‌آیند. این آشکارسازها کاربردهای بسیار زیادی در صنعت، پزشکی، مطالعات زیست‌محیطی و غیره دارند [۱-۴]. در سال ۱۹۴۸ هافستاتر نشان داد که بلور یدور سدیم یک خروجی نوری سوسوزنی بزرگ نسبت به مواد آلی دیگر تولید می‌کند [۵]. در این پژوهش یکی از آشکارسازهای سوسوزنی که استفاده شده است یدور سدیم و دیگری یدور سزیم است. هدف بسیاری از اندازه گیری‌های تابش به‌دست آوردن توزیع انرژی تابش فرودی است. ازین‌رو، لازم است تا پاسخ آشکارساز سوسوزن را برای تابش ورودی بدانیم. توزیع ارتفاع تپ های ولتاژ ایجاد شده در سیستم الکترونیکی آشکارساز توسط یک چشمه‌ی تک انرژی تابع پاسخ آشکارساز را در آن انرژی به دست می‌دهد. تابع پاسخ آشکارساز علاوه بر عوامل محیطی نظیر دما، به خصوصیات و ساختمان آشکارساز و انرژی ذره فرودی نیز بستگی دارد



[۶]. به دلیل آنکه تعداد چشمه های مورد استفاده محدود و فرایند زمانبری است بنابراین شبیه سازی تابع توزیع ارتفاع پالس آشکارساز امری منطقی است. در دهه ۱۹۷۰ برگر و سلنزر برای محاسبه توابع پاسخ آشکارساز NaI از شبیه سازی مونت کارلو استفاده کردند که بر اساس نمونه برداری براساس انتخاب اعداد تصادفی است [۷و۸]. در این پژوهش از چشمه های استاندارد ^{60}Co ، ^{22}Na و ^{137}Cs برای اندازه گیری تجربی تابع پاسخ آشکارسازهای سه اینچی NaI(Tl) و CsI(Tl) استفاده شده است.

روش کار :

با به کارگیری دو آشکارساز NaI(Tl) و CsI(Tl) طیف چشمه های گاما ^{60}Co ، ^{22}Na و ^{137}Cs را در زمان زنده ی ۳۰۰۰ ثانیه اندازه گرفته ایم. فاصله چشمه های استاندارد تا آشکارساز ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است. پس از کالیبراسیون طیف ها، قدرت تفکیک انرژی و کسر فوتو (نسبت سطح زیر قله فوتوپیک به سطح زیر کل طیف) محاسبه می شود. کسر فوتو، یک اندازه گیری مستقیم از احتمال به جای گذاشتن تمام انرژی پرتو گاما در داخل آشکارساز است. قدرت تفکیک آشکارساز نشان دهنده توانایی آشکارساز در تفکیک قله های مربوط به انرژی های نزدیک به هم می باشد و یکی از ویژگی های آشکارساز است که تابع انرژی است، و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$R(E) = \frac{FWHM}{E_0} \times 100$$

که در این رابطه FWHM برابر با پهنای قله در نیم بیشینه از ارتفاع و E_0 انرژی مربوط به قله است [۹]. برای بررسی صحت تابع پاسخ محاسبه شده با داده های تجربی از کد مونت کارلو MCNP4C که از روش های آماری برای حل مسائل بهره می گیرد، استفاده شده است. برای استفاده از این کد باید اطلاعات لازم و دقیق توسط یک فایل ورودی به برنامه داده شود. برای رسیدن به نتیجه ی مطلوب، این اطلاعات، اعم از هندسه سیستم، مواد به کار رفته و توزیع آن ها، چشمه و ویژگی آن و بقیه جزئیات باید تا آنجا که امکان دارد منطبق بر سیستم آزمایش باشد. برای شبیه سازی توزیع گاوسی شکل در محدوده ی فوتوپیک با کد MCNP4C نیازمند پارامتری به نام ضرایب GEB هستیم که در تالی F8 این کد استفاده می شود. تابع پاسخ گاوسی شکل در محدوده فوتوپیک بر حسب انرژی ای که فوتوپیک در آن رخ می دهد به صورت

$$f(E) = Ce^{-\frac{(E-E_0)^2}{A}} \text{ می باشد.}$$

در این رابطه C ضریب بهنجارش و A به صورت $A = \frac{FWHM}{2\sqrt{\ln 2}}$ می باشد. برای به دست آوردن تابع پاسخ



برای هر آشکار نمودار FWHM بر حسب انرژی رسم گردیده است و از تطبیق این نمودارها با تابع غیرخطی $FWHM = a + b\sqrt{E} + cE^2$ مقادیر a، b و c با استفاده از تکنیک برازش حداقل مربعات به دست آمده‌اند.

نتایج :

نتایج حاصل از اندازه گیری پهنای قله در نیم بیشینه مربوط به قله های فوتوپیک در انرژی های مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مقادیر FWHM تجربی برای دو آشکارساز

FWHM (MeV)		انرژی گاما (MeV)
NaI(Tl)	CsI(Tl)	
۰/۰۵۰۵۶	۰/۰۴۹۶۳	۰/۶۶۲
۰/۰۴۴۴۵	۰/۰۴۰۲۵	۰/۵۱۱
۰/۰۷۰۱۳	۰/۰۶۸۰	۱/۲۷۵
۰/۰۶۷۱۳	۰/۰۶۶۵	۱/۱۷۳
۰/۰۷۳۱۹	۰/۰۶۸۶۳	۱/۳۳۲

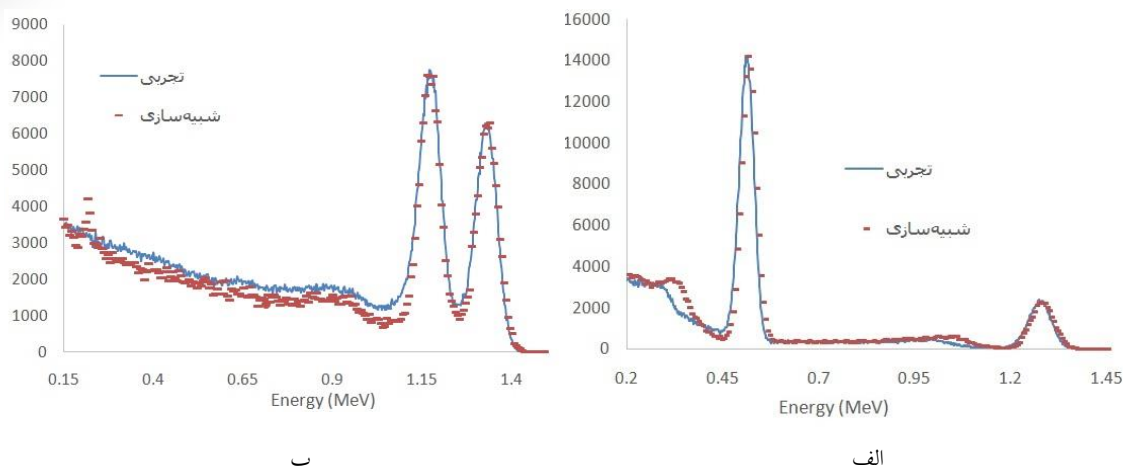
مقادیر a، b و c به دست آمده در رابطه $FWHM = a + b\sqrt{E} + cE^2$ که با استفاده از برازش داده‌های تجربی به دست آمده، در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: مقادیر ضرایب GEB برای هر دو آشکارساز

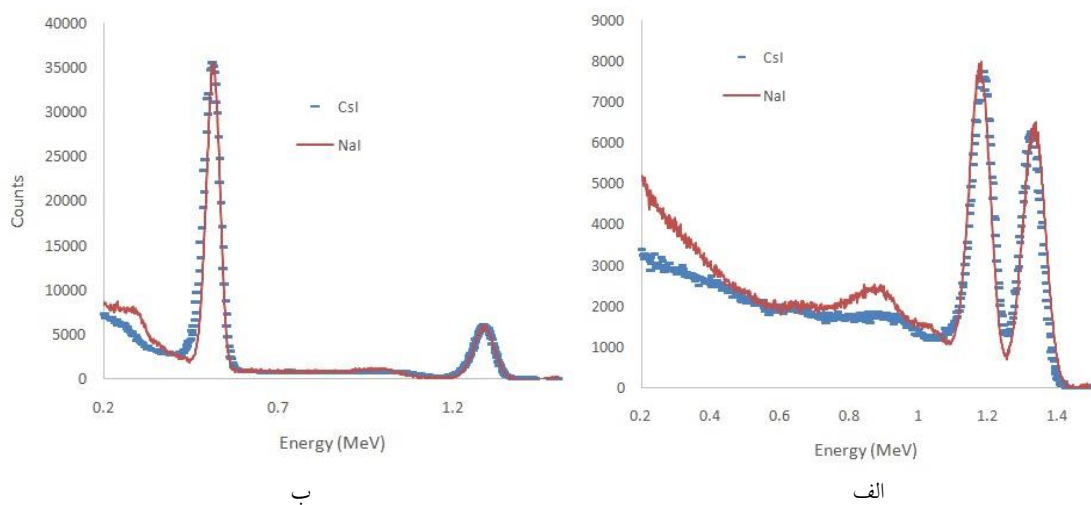
c (MeV ⁻¹)	b (MeV ^{1/2})	a (MeV)	آشکارساز
۰/۴۴۷۰۲۸	۰/۰۴۱۸۰۳	۰/۰۱۱۵۰۳۶	یدور سدیم
-۰/۳۳۹۷۵۸	۰/۱۳۸۲۹۶	-۰/۰۴۹۵۴۹۳	یدور سزیم

برای بررسی درستی تابع پاسخ و ضرایب GEB محاسبه شده از مقایسه طیف تجربی و طیف حاصل از شبیه سازی با اعمال پهن شدگی گوسی شکل استفاده شده است.

شکل ۱ الف مقایسه‌ی طیف‌های تجربی و شبیه سازی حاصل از آشکارساز یدور سدیم برای چشمه‌ی ^{22}Na و شکل ۱ ب همین مقایسه را برای نتایج حاصل از آشکارساز یدور سزیم برای چشمه‌ی ^{60}Co نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که دیگر نمودارهای مقایسه‌ای شبیه‌سازی و تجربی همخوانی خوبی نشان می‌دهند.



شکل ۱- مقایسه‌ی طیف‌های تجربی و شبیه‌سازی (الف) چشمه ^{22}Na حاصل از آشکارساز یدورسزیم و (ب) چشمه ^{60}Co حاصل از آشکارساز یدور سزیم



شکل ۲: مقایسه طیف‌های تجربی حاصل از هر دو آشکار برای (الف-بالا) چشمه ^{60}Co و (ب-پایین) چشمه ^{22}Na

در ادامه طیف‌های تجربی حاصل از هر دو آشکارساز برای هر سه چشمه با یکدیگر مقایسه شدند که نمودارهای شکل ۲ الف و ب این مقایسه را به خوبی نشان می‌دهند. در جدول ۳ مقادیر کسر فوتو (نسبت شمارش‌های زیر فوتوپیک به کل شمارش‌های طیف) و قدرت تفکیک در هر انرژی آورده شده است.



جدول ۳: مقادیر قدرت تفکیک و کسر فوتو حاصل از هر دو آشکارساز برای سه چشمه

$\frac{FWHM}{E_0} (\%)$	کسر فوتو (%)	نوع آشکارساز	انرژی گاما (MeV)
۷/۸۷۷	۵۳/۰	CsI(Tl)	۰/۵۱۱
۸/۶۹۹	۴۴/۱	NaI(Tl)	
۷/۴۹۷	۶۱/۸	CsI(Tl)	۰/۶۶۲
۷/۶۳۷	۶۰/۰	NaI(Tl)	
۵/۶۶۹	۲۵/۳	CsI(Tl)	۱/۱۷۳
۵/۷۲۳	۱۸/۹	NaI(Tl)	
۵/۳۳۳	۱۴/۴	CsI(Tl)	۱/۲۷۵
۵/۵۰	۱۰/۶	NaI(Tl)	
۵/۱۵۲	۱۸/۵	CsI(Tl)	۱/۳۳۲
۵/۴۹۵	۱۵/۳	NaI(Tl)	

بحث و نتیجه گیری :

همان گونه که در شکل ۱ الف و ب دیده می شود، اختلاف اندکی در لبه ی کامپتون در طیف حاصل از MCNP مشاهده می شود که در آشکارساز یدورسدیم این اختلاف بیشتر است و بالاتر از طیف تجربی قرار گرفته است. برای پیوستار کامپتون قبل از لبه ی کامپتون، نتایج شبیه سازی کمی پایین تر از داده های تجربی هستند که دلیل آن به خاطر پراکندگی فوتون ها در آشکارساز، محافظ ها، پوشش و ماده ی دربرگیرنده ی بلور سوسوزن است. مقایسه ی طیف های شبیه سازی شده با طیف های تجربی در انرژی های بالا نشان می دهد که بین نتایج شبیه سازی و نتایج حاصل از آزمایش تطابق خوبی وجود دارد. در انرژی های بالا بازده سوسوزنی خطی است و در کد MCNP در نظر گرفته شده است. نتایج این مقایسه ها صحت تابع پاسخ به دست آمده را نشان می دهد. مشاهده می شود که پیوستار کامپتون در آشکارساز NaI(Tl) بالاتر از پیوستار کامپتون در آشکارساز CsI(Tl) قرار دارد، با توجه به اینکه در طیف کبالت این موضوع بیشتر مشهود است که این امر به دلیل چگالی کمتر یدورسدیم نسبت به چگالی یدورسزیم است.

جدول ۳ نشان می دهد که قدرت تفکیک در انرژی های مختلف برای آشکارساز ۳ اینچی یدورسزیم از آشکارساز ۳ اینچی یدورسدیم کمتر است، که نشان دهنده ی بهتر بودن قدرت تفکیک آشکارساز CsI نسبت به NaI است. این موضوع مهم نشان می دهد که به احتمال زیاد افت و خیزهای آماری ناشی از گسسته بودن حامل های بار حاصل از ذخیره ی انرژی و سوسوزنی در داخل کریستال CsI کمتر از کریستال NaI می باشد. همچنین با توجه به جدول ۳، مشاهده می شود که در آشکارساز ۳ اینچی CsI(Tl) پدیده ی فوتوالکتریک به مراتب بیشتر از آشکارساز ۳ اینچی NaI(Tl) رخ می دهد.



مراجع :

1. Miri Hakimabad, H., Panjeh, H. and Vejdani-Noghreiyani, A. (2007) *Evaluation the nonlinear response function of a 3×3 in NaI scintillation detector for PGNAA applications*. Applied radiation and isotopes, 65(8): p. 918-926.
2. Nikl, M. (2006) *Scintillation detectors for x-rays*. Measurement Science and Technology, 17(4), R37.
3. Fiorini, C., Longoni, A., Perotti, F., Labanti, C., Lechner, P., and Struder, L. (1997) *Gamma ray spectroscopy with CsI (Tl) scintillator coupled to silicon drift chamber*. IEEE Transactions on Nuclear Science, 44(6): p. 2553-2560.
4. Vandenbroucke, A., Foudray, A. M. K., Olcott, P. D., and Levin, C. S. (2010) *Performance characterization of a new high resolution PET scintillation detector*. Physics in medicine and biology, 55(19): p. 5895.
5. Shi, H. X., Chen, B. X., Li, T. Z., and Yun, D. (2002) *Precise Monte Carlo simulation of gamma-ray response functions for an NaI (Tl) detector*. Applied radiation and isotopes, 57(4): p. 517-524.
6. Izadi Najafabadi, R. and Miri Hakimabad, H. (2009) *The Effect of Detector Dimensions on the NaI Detector Response Function*. Journal of Applied Sciences, 19(11): p. 2168-2173
7. Berger, M. J., and Seltzer, S. M. (1972). *Response functions for sodium iodide scintillation detectors*. Nuclear Instruments and Methods, 104(2): p. 317-332.
8. Salgado, C. M., Brandao, L. E. B., Schirru, R., Pereira, C. M. N. A., and Conti, C. C. (2012) *Validation of a NaI (Tl) detector's model developed with MCNP-X code*. Progress in Nuclear Energy, 59: p. 19-25.
9. Miri Hakimabad, H, Panjeh, H., and Vejdani-Noghreiyani, A. (2007) *Response Function of a 3×3 in. NaI Scintillation Detector in the range of 0. 081 to 4. 438 MeV*. Asian Journal of Experimental Sciences, 21(2): p. 233-237.