



شبیه‌سازی پاسخ آشکارساز سوسوزن مایع NE_{213} به نوترون‌های چشمه‌ی $^{241}Am-Be$ با تلفیق کارت PTRAC کد MCNPX و کد تراپرد PHOTRACK

مجتبی تاجیک^{۱*}، نیما قلعه^۲، غلامرضا اطاعتی^۳، حسین آفریده^۳

۱. پژوهشکده‌ی علوم هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران - ایران

۲. دانشکده‌ی فیزیک، دانشگاه دامغان، صندوق پستی: ۳۶۷۱۶-۴۱۱۶۷، دامغان - ایران

۳. دانشکده‌ی مهندسی هسته‌ای و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، صندوق پستی: ۴۴۱۳-۱۵۸۷۵، تهران - ایران

چکیده: با هدف شبیه‌سازی پاسخ آشکارساز سوسوزن NE_{213} به نوترون‌های چشمه‌ی $Am-Be$ ، محاسباتی تراپرد نوترون و ذرات باردار ثانویه با استفاده از برنامه‌ای که خروجی کارت PTRAC کد MCNPX را پس‌پردازش می‌کند (برنامه‌ی MCNPX-PHOTRACK) و محاسبه‌ی مقدار نور سوسوزنی هر کدام از ذرات باردار از طریق منحنی‌های نوری معتبر، و در نهایت، محاسبه‌ی تراپرد نور سوسوزنی نیز با استفاده از کد PHOTRACK به انجام رسید. به منظور بررسی صحت عملکرد کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK، پاسخ تجربی آشکارساز NE_{213} به نوترون‌های چشمه‌ی $Am-Be$ با استفاده از مدار جداسازی نوترون-گاما به روش گذر از صفر به دست آمد. مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی و تجربی هم‌خوانی بسیار خوبی را نشان داد.

کلیدواژه‌ها: شبیه‌سازی، آشکارساز سوسوزن مایع NE_{213} ، نوترون‌های چشمه‌ی $^{241}Am-Be$ ، کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK

Monte Carlo Simulation of NE213 Response to $^{241}Am-Be$ Neutrons Using the PTRAC Card of the MCNPX Code and the Light Transport Code PHOTRACK

M. Tajik^{1*}, N. Ghal-Eh², G.R. Etaati³, H. Afarideh³

1. Nuclear Science Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 14155-1339, Tehran - Iran

2. School of Physics, Damghan University, P.O.Box: 41167-36716, Damghan - Iran

3. Department of Nuclear Engineering and Physics, Amir Kabir University of Technology, P.O.Box: 15875-4413, Tehran - Iran

Abstract: The response of an NE213 scintillator to Am-Be neutrons, in which the neutron and neutron-induced charged particles transports have been undertaken, has been simulated with the use of MCNPX' PTRAC card whilst the scintillation light transport has been performed with Monte Carlo light transport code, PHOTRACK. The scintillation light output for different neutron-induced charged particles has been calculated using the validated light output curves. The experimental data on the response of the NE213 scintillator exposed to Am-Be source has been obtained with a neutron-gamma discrimination circuitry using zero-crossing method. The simulation data represent a good agreement with the corresponding experimental results.

Keywords: Simulation, NE213 Liquid Scintillator Detector, $^{241}Am-Be$ Neutrons, MCNPX-PHOTRACK Hybrid Code



۱. مقدمه

سوسوزن آلی نوع NE213 (یا معادل آن BC501A) به علت دارا بودن ترکیب‌های هیدروژن‌دار و برخورداری از عدد اتمی متوسط پایین، در طیف‌سنجی نوترون و نیز به علت پاسخ زمانی نسبتاً سریع، در اندازه‌گیری‌های زمانی متنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. نور خروجی در سوسوزن آلی به طور مستقیم از طریق ذرات باردار و به طور غیرمستقیم از طریق هسته‌های پس‌زن و الکترون‌های ناشی از برهم‌کنش‌های نوترون و گاما و به طور کلی در خلال واکنش‌های مولکول‌های سازنده‌ی آن حاصل می‌شود. شدت گسیل نور سوسوزنی حاصل از واکنش‌ها، دارای تابعیت زمانی تقریباً نمایی و با دو مؤلفه‌ی سریع و کند است. از آنجایی که کسر نور تولید شده در مؤلفه‌ی کند به نوع ذره‌ی برهم‌کنش‌کننده وابسته است، می‌توان از این سوسوزن و با استفاده از مدار مناسب شناخت شکل تپ، در جداسازی نوترون-گاما استفاده کرد [۲].

منحنی تغییرات فراوانی نور تولیدی در سوسوزن برحسب انرژی ذره‌ی فرودی، تابع پاسخ یا طیف ارتفاع تپ نامیده می‌شود که به علت عدد اتمی متوسط نسبتاً پایین این سوسوزن، فاقد قله‌ی تمام انرژی بوده و صرفاً دارای یک پیوستار است. با در اختیار داشتن طیف ارتفاع تپ و نیز با استفاده از روش‌های مختلف بازیابی [۳، ۴، ۵، ۶، ۷]، می‌توان به طیف انرژی ذرات فرودی به آشکارساز دست یافت و تعداد ذرات نیز به سادگی با محاسبه‌ی سطح زیر طیف (به همراه اطلاعات مربوط به بازده آشکارساز) امکان‌پذیر است.

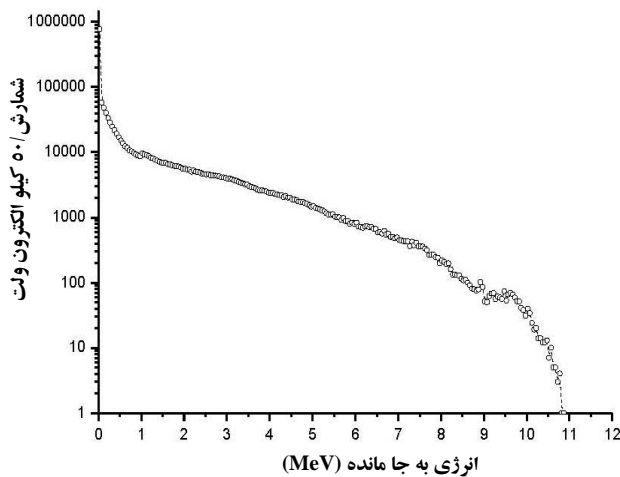
مطالعه‌های بسیاری بر روی شبیه‌سازی پاسخ آشکارساز NE213 صورت گرفته که حاصل آن معرفی کدهای مستقل تولید تابع پاسخ مانند SCINFUL [۸] و OAS [۹] و هم‌چنین استفاده از کدهای چند منظوره نظیر FLUKA، MCNP و GEANT برای شبیه‌سازی پاسخ آشکارساز [۱۰، ۱۱، ۱۲] بوده است. توسعه‌ی یک برنامه‌ی جامع شبیه‌سازی پاسخ سوسوزن که از یکسو بتواند کلیه‌ی اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آزمایش (شامل طیف انرژی و توزیع فضایی ذرات گسیلیده از چشمه، مواد محصورکننده‌ی چشمه و آشکارساز و نظایر آن) را بگیرد و از سوی دیگر عناصر صرفاً نوری (شامل نوربر و رنگ‌آمیزی سطح سوسوزن و نظایر آن) در آن قابل اعمال باشد، هدف اصلی

بسیاری از پژوهش‌گران این حوزه بوده است [۱۲]. براساس این رویکرد، در این مقاله برای محاسبه‌ی پاسخ نوترونی سوسوزن NE213 از کارت PTRAC کد MCNPX [۱۳] استفاده شده است. علت استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX، توانمندی نسبتاً بالای این کد در شبیه‌سازی انواع مواد و هندسه‌های متنوع است. این توانمندی در دیگر کدهای شبیه‌سازی نظیر SCINFUL به دلایل زیر وجود ندارد:

- فضای شبیه‌سازی، محدود به محیط آشکارساز (و نه تمامی پیکربندی آزمایش) بوده و نیز هندسه‌ی آشکارساز تنها به صورت استوانه‌ای قابل شبیه‌سازی است؛
- امکان تعریف توزیع انرژی چشمه‌ی نوترون تنها به صورت تک‌انرژی یا ماکسولی وجود دارد (با این کد چشمه‌های رادیوایزوتوپی نوترون چون $^{241}\text{Am-Be}$ را نمی‌توان مدل‌سازی کرد)؛
- امکان ارایه‌ی تاریخچه‌ی هر نوترون ترابرد شده به صورت مجزا (رویداد به رویداد) وجود ندارد تا بتوان اطلاعاتی راجع به انرژی به جا مانده و متناظراً نور سوسوزنی به دست آورد؛
- امکان تعریف نوربر و پوشش سطح نوربر و سلول آشکارساز که تأثیر بسزایی بر قدرت تفکیک و بازده و بهبود آن‌ها در آشکارسازها دارند، وجود ندارد. اطاعتی و قلعه [۱۴]، به منظور بهبود عملکرد کد SCINFUL، قابلیت ترابرد نور سوسوزنی را نیز به کد SCINFUL افزودند (کد تلفیقی SCINFUL-PHOTRACK)، ولی با وجود نتایج خوبی که در شبیه‌سازی تابع پاسخ آشکارساز NE213 برای نوترون‌های تک انرژی به دست آمد، چون ساختار اصلی این کد تلفیقی را کد SCINFUL تشکیل می‌داد، امکان برداشته شدن تمامی محدودیت‌های ذکر شده در بالا وجود نداشت.

۲. محاسبه‌ی انرژی به جا مانده از ذرات باردار حاصل از برهم‌کنش‌های نوترون‌های چشمه‌ی $^{241}\text{Am-Be}$

به منظور تشریح جزئیات شبیه‌سازی، یک سوسوزن NE213 استوانه‌ای بدون نوربر، با قطر و ارتفاع ۵٫۰۸cm، واقع در معرض



شکل ۲. طیف انرژی به جا مانده از ذرات ثانویه‌ی باردار شبیه‌سازی شده با استفاده از کد MCNPX، برای آشکارساز سوسوزن NE۲۱۳ واقع در معرض چشمه‌ی نوترونی $^{241}\text{Am-Be}$.

۳. محاسبه‌ی نور خروجی ذرات باردار

برای شبیه‌سازی پاسخ سوسوزن، باید نور سوسوزنی حاصل از برهم‌کنش ذرات باردار ثانویه‌ی حاصل از برهم‌کنش هر نوترون ورودی به آشکارساز محاسبه شود. نوترون، بسته به انرژی اولیه‌اش و ابعاد آشکارساز، ممکن است چندین برهم‌کنش در داخل آشکارساز انجام دهد. این برهم‌کنش‌ها منجر به تولید ذرات باردار ثانویه‌ی متعددی می‌شود. ذره‌ی ثانویه‌ی باردار ممکن است انرژی‌اش را به طور کامل در آشکارساز از دست بدهد و یا کسری از آن را در داخل آشکارساز به جا گذارد و بقیه را با خود همراه ببرد. در این حالت، نور خروجی از طریق انرژی جنبشی ذرات باردار ثانویه‌ی تولید شده در داخل حجم سوسوزن و براساس منحنی‌های نوری (یعنی منحنی‌های تبدیل انرژی ذرات باردار به نور سوسوزنی) به دست می‌آید. منحنی‌های نوری مورد استفاده در این مطالعه، مربوط به ورینسکی و گرین [۱۸، ۱۹] است که در آن‌ها مدل برازش داده‌ها از مقاله‌ی سسیل [۲۰] برگرفته شده است

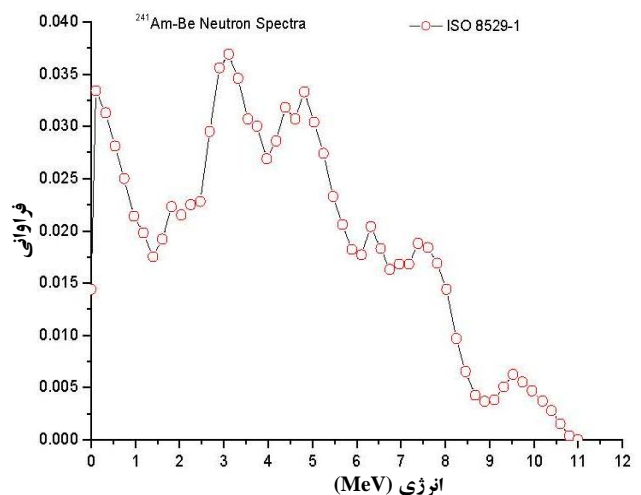
$$L(E_p) = L_{ec} = 0.66055E_p - 1.64456[1 - \exp(-0.37686E_p^{1.96652})] \quad (1)$$

$$L(E_\alpha) = L_{ec} = 0.391E_\alpha - 4.159[1 - \exp(-0.085E_\alpha^{1.1})] \quad (2)$$

$$L(E_C) = L_{ec} = 0.138E_C - 75.786[1 - \exp(-0.01745E_C^{1.007})] \quad (3)$$

$$L(E_e^-) = L_{ec} \quad (4)$$

نوترون‌های چشمه‌ی $^{241}\text{Am-Be}$ با طیف انرژی داده شده در شکل ۱ در نظر گرفته شد. از آنجایی که نور سوسوزنی، حاصل برهم‌کنش ذرات ثانویه‌ی باردار در سوسوزن است، باید میزان انرژی به جا مانده در سوسوزن توسط کارت PTRAC کد MCNPX محاسبه شود [۱۵]. واکنش‌هایی که ذرات ثانویه‌ی باردار ایجاد می‌کنند و در پاسخ سوسوزن نقش دارند، عبارت‌اند از [۱۶]: (۱) واکنش‌های پراکندگی کشسان $^1\text{H}(n, n)^1\text{H}$ و $^{12}\text{C}(n, n)^{12}\text{C}$ ، (۲) واکنش پراکندگی ناکشسان $^{12}\text{C}(n, n)^{12}\text{C}$ و $^{12}\text{C}(n, n)^{12}\text{C}$ (۳) واکنش‌های نوترون-القا با کربن $^{12}\text{C}(n, \alpha)^8\text{Be}$ ، $^{12}\text{C}(n, d)^{11}\text{B}$ و $^{12}\text{C}(n, p)^{11}\text{B}$ ، $^{12}\text{C}(n, n)^3\alpha$ که در انرژی‌های بالای ۷ MeV اهمیت پیدا می‌کنند. کارت PTRAC کد MCNPX، تمام جزئیات تاریخچه‌ی ذره‌ی فرودی از قبیل نوع برهم‌کنش، موقعیت، جهت حرکت و انرژی ذره را به صورت رویداد به رویداد ثبت می‌کند. برای محاسبه‌ی انرژی به جا مانده از ذره در داخل سوسوزن، یک برنامه‌ی پس‌پردازش در محیط فرترن نوشته شد، که فایل خروجی PTRAC را به عنوان ورودی گرفته و با توجه به نوع برهم‌کنش نوترون، انرژی اولیه و ثانویه‌ی ذرات باردار، میزان انرژی به جا مانده در سوسوزن را به ازای هر نوترون محاسبه می‌کند. در شکل ۲، طیف انرژی به جا مانده‌ی ذرات ثانویه‌ی حاصل از برهم‌کنش نوترون‌های $^{241}\text{Am-Be}$ در سوسوزن استوانه‌ای NE۲۱۳ به قطر و ارتفاع ۵٫۰۸ سانتی‌متر نمایش داده شده است.



شکل ۱. طیف انرژی چشمه‌ی $^{241}\text{Am-Be}$ مورد استفاده در شبیه‌سازی پاسخ آشکارساز سوسوزن NE۲۱۳ به نوترون‌های چشمه‌ی $^{241}\text{Am-Be}$ [۱۷].



در بازه‌ی 0.017MeVee تا 0.25MeVee و در ناحیه‌های پایین‌تر از 0.21MeVee در طیف نور خروجی سوسوزن نقش دارند.

۴. کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK

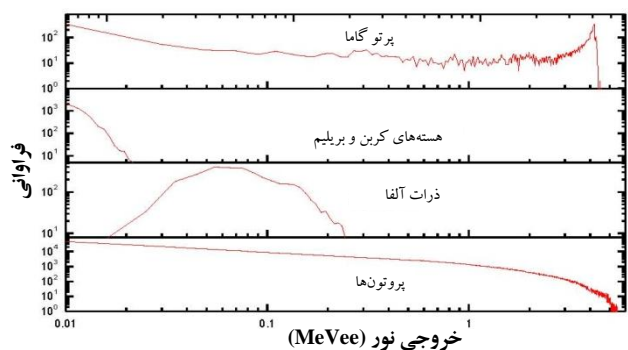
۱.۴ شبه‌سازی ترابرد نور

کارت PTRAC کد MCNPX، تنها امکان محاسبه‌ی انرژی به جا مانده از نوترون در سوسوزن را فراهم می‌کند و توانایی ترابرد فوتون مری و شبه‌سازی انواع پیکربندی‌های مختلف رنگ‌آمیزی سطح سوسوزن و نوربرهای با طول و هندسه‌ی مختلف را، که اغلب برای بهبود کیفیت آشکارسازی استفاده می‌شوند، ندارد. از آنجایی که برای یک شبه‌سازی دقیق، در نظر گرفتن کلیه‌ی اجزای سوسوزن در برنامه شبه‌سازی الزامی است، از کد PHOTRACK که اثرات سطوح مختلف آشکارساز و نوربر را به همراه وابستگی به طول موج‌ها شبه‌سازی می‌کند [۲۱، ۲۲]، استفاده شد. همان‌طور که در روندنمای شکل ۴ نشان داده شده است، با استفاده از کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK (در قالب یک برنامه‌ی پس‌پردازش که در آن، خروجی کارت PTRAC ورودی کد PHOTRACK را تشکیل می‌دهد)، پاسخ سوسوزن NE213 رنگ شده با رنگ BC620، قرار گرفته در معرض نوترون‌های چشمه‌ی $^{241}\text{Am-Be}$ ، شبه‌سازی شده است. در برنامه‌ی پس‌پردازش، با توجه به نوع و موقعیت رویداد، جهت حرکت و انرژی جنبشی ذره که از خروجی کارت PTRAC دریافت می‌شود، میزان انرژی به جا مانده از ذرات باردار مختلف در سوسوزن محاسبه و سپس با فراخوانی کد PHOTRACK، در همان محل انرژی به جا مانده از ذرات باردار، ۱۰۰۰۰ فوتون مری تولید و ترابرد می‌شود (عدد ۱۰۰۰۰ براساس تجربه به دست آمده و منجر به خطای محاسباتی کم‌تر از ۳٪ می‌شود). در گام‌های بعدی، به مرور از وزن آماری اولیه این فوتون‌های مری کاسته شد و نهایتاً وزن نهایی آن‌ها در لحظه‌ی ورود به فوتوکاتد ثبت شد. میانگین وزن ثبت شده در فوتوکاتد، در نور خروجی به دست آمده از روابط (۱) تا (۴) مربوط به ذرات باردار ثانویه‌ی ایجاد شده، ضرب شد و با در نظر گرفتن اثر دیواره (رابطه‌ی (۵))، مجموع نور خروجی همه‌ی ذرات ثانویه محاسبه شد. هنگامی که فرایندهای ذکر شده برای تعداد زیادی از نوترون‌های فرودی تکرار و منحنی فراوانی نور کل ترابرد شده رسم شد، مانسته‌ی طیف ارتفاع تپ سوسوزن به دست آمد.

که در آن‌ها، L_{ee} برحسب $(\text{MeVee})\text{MeVee}$ ، انرژی ذره‌ی باردار است که می‌تواند، نوری برابر با نور یک الکترون با انرژی 1MeV در سوسوزن تولید کند (نور خروجی ناشی از ذرات باردار، $L(E_e)$ ، $L(E_c)$ ، $L(E_a)$ ، $L(E_p)$ ، به ترتیب، نور خروجی پروتون، ذره‌ی آلفا، کربن و الکترون است. در مطالعه‌های گرین و ورینسکی، نور حاصل از بریلیم برابر با یک‌سوم نور کربن در نظر گرفته شده است [۱۸، ۱۹]. بنابراین، نور خروجی نوترون فرودی با مجموع نورهای خروجی همه‌ی ذرات ثانویه‌ی باردار تولید شده به وسیله‌ی آن برابر است. با در نظر گرفتن ملاحظات فوق و نیز اثر دیواره (اثری که براساس آن، ذرات باردار ثانویه به خاطر اندازه‌ی محدود سوسوزن، همه‌ی انرژی خود را در آشکارساز به جا نمی‌گذارند)، نور خروجی ذرات ثانویه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید [۱۲]

$$L = L(E_K) - L(E_{KR}) \quad (5)$$

که در آن E_K انرژی جنبشی ذرات باردار ثانویه‌ی تولید شده در ماده‌ی سوسوزن، $E_{KR} = E_K - E_{\text{dep}}$ انرژی جنبشی باقی‌مانده (انرژی جنبشی ذره باردار منهای انرژی به جا مانده در سوسوزن) و E_{dep} انرژی به جا مانده در ماده‌ی سوسوزن است. سهم نور خروجی ذرات باردار ثانویه‌ی سبک شامل پروتون، الکترون، آلفا و سنگین مانند کربن و بریلیم با استفاده از داده‌های خروجی کارت PTRAC کد MCNPX و به وسیله‌ی برنامه‌ی پس‌پردازش به دست آمده است (شکل ۳). شکل ۳ نشان می‌دهد که پروتون‌های پس‌زن و الکترون‌های ثانویه‌ی ناشی از گاماها و واکنش‌های نوترون-الفا با کربن در کل طیف نور خروجی سهم دارند؛ اما سهم عمده‌ی نور خروجی، ناشی از پروتون‌های پس‌زن است. ذرات آلفا و ذرات سنگین مانند کربن و بریلیم، به ترتیب،

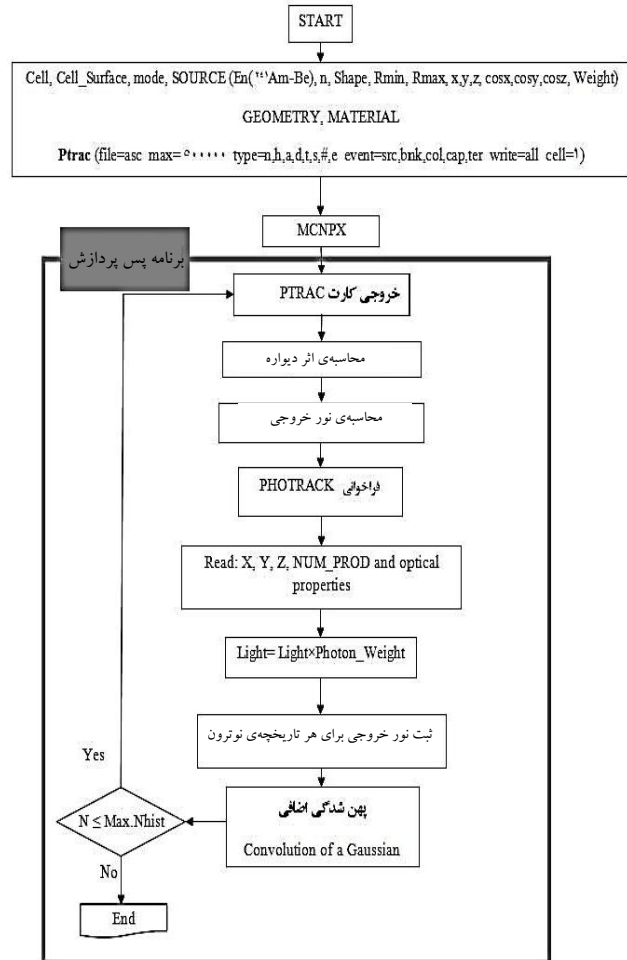


شکل ۳. سهم نور خروجی هر یک از ذرات باردار ثانویه‌ی حاصل از برهم‌کنش نوترون‌های چشمه‌ی $^{241}\text{Am-Be}$ در سوسوزن NE213.

۵. مطالعات تجربی

به منظور مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی با نتایج تجربی پاسخ سوسوزن NE۲۱۳ بدون نوربر به نوترون‌های چشمه‌ی $^{241}\text{Am-Be}$ ، لازم است با استفاده از مدار جداسازی، سهم پرتوهای گاما در طیف آشکارساز را حذف کرد. مدار جداسازی، که براساس روش گذر از صفر عمل می‌کند، در شکل ۵ نشان داده شده است. چنانچه در شکل ۵ مشاهده می‌شود، تپ به دست آمده از آند پس از رفتن به واحد شناخت شکل تپ (Pulse-Shape Discriminator: PSD) به عنوان تپ توقف به مبدل زمان-به-دامنه (Time to Amplitude Converter: TAC) وارد شده و همان تپ آند بعد از عبور از مدار تمیزدهنده‌ی کسر ثابت (Constant Fraction Discriminator: CFD) به عنوان تپ شروع به مبدل زمان-به-دامنه اعمال می‌شود. تپ دینود بعد از تقویت و عبور از پیش تقویت کننده و تقویت کننده به عنوان شاخص انرژی برای ثبت شدن به تحلیل گر بس متغیره (Multi-Parameter Analyzer: MPA) داده می‌شود. این آزمایش با چشمه‌ی $^{241}\text{Am-Be}$ با فعالیت ۱۰۰mCi انجام و فاصله‌ی چشمه تا آشکارساز تقریباً ۳۰cm در نظر گرفته شد (شکل ۶). به منظور جلوگیری از اثرات پس‌پراکندگی، آشکارساز در فاصله‌ی ۱m از سطح زمین و ۱٫۵m از دیوارها قرار داده شد. چشمه‌ی گامای ^{22}Na نیز برای کالیبراسیون انرژی استفاده شد، بدین ترتیب که مطابق قرارداد، ۸۹٪ شمارش لبه‌ی کامپتون گامای پراثری این چشمه (فوتون با انرژی ۱٫۲۷۴MeV)، در انرژی ۱٫۰۶۱MeV، به عنوان یک واحد نوری یا ۱MeV در نظر گرفته شد [۲۳]. پس از کالیبراسیون انرژی، از طیف جداسازی نوترون-گامای به دست آمده، طیف نوترونی (شکل ۷. ب) از طیف دو پارامتری (شکل ۷. الف) به راحتی استخراج شد.

در شکل ۸، مقادیر اندازه‌گیری شده با نتایج شبیه‌سازی کد MCNPX-PHOTRACK برای آشکارساز سوسوزن استوانه‌ای NE۲۱۳ بدون نوربر با قطر و ارتفاع ۵٫۰۸cm قرار گرفته در معرض چشمه‌ی نوترون $^{241}\text{Am-Be}$ مقایسه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد که نتایج شبیه‌سازی با کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK با نتایج تجربی هم‌خوانی قابل‌قبولی دارد.



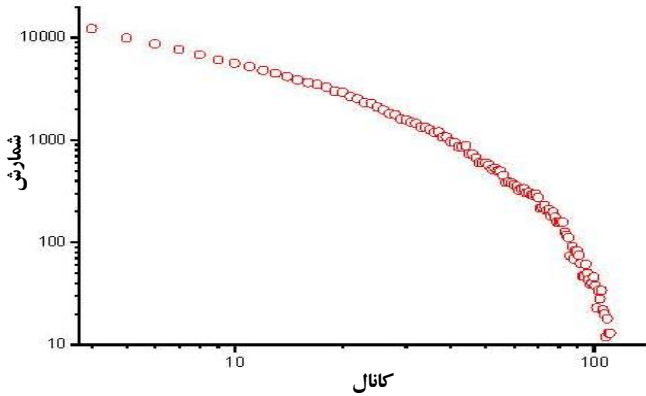
شکل ۴. روندنمای شبیه‌سازی پاسخ آشکارساز سوسوزن مایع NE۲۱۳ [۱۵].

۲.۴ پیچش قدرت تفکیک اضافی در طیف

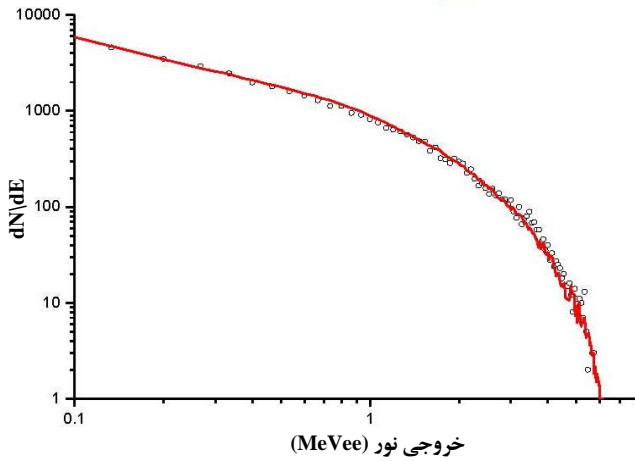
برای فراهم آمدن امکان مقایسه‌ی داده‌های حاصل از شبیه‌سازی و تجربی، یک پهن‌شدگی اضافی باید بر روی طیف شبیه‌سازی مرحله‌ی قبل اعمال می‌شود که اساساً ناشی از حضور لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی (PMT) (که می‌تواند به نایکنواختی سطح فوتوکاتد و تکثیر الکترون در زنجیره‌ی دینودی مرتبط باشد) و نیز نوفه‌ی الکترونیک است. این قدرت تفکیک اضافی معمولاً با پیچش یک تابع گاوسی در طیف خروجی حاصل از کد MCNPX-PHOTRACK انجام شد. وابستگی خروجی نوری به این قدرت تفکیک اضافی، توسط گرین و همکاران [۱۹] اندازه‌گیری شده، و بر این اساس $R = \frac{12.98}{L^{0.44}}$ برای $L < 0.3 \text{ MeVee}$ و $R = \frac{16.22}{L^{0.11}}$ و $L > 0.3 \text{ MeVee}$ به دست آمده است [۱۹]، که در آن، R قدرت تفکیک و L نور خروجی سوسوزن است.



(ب)



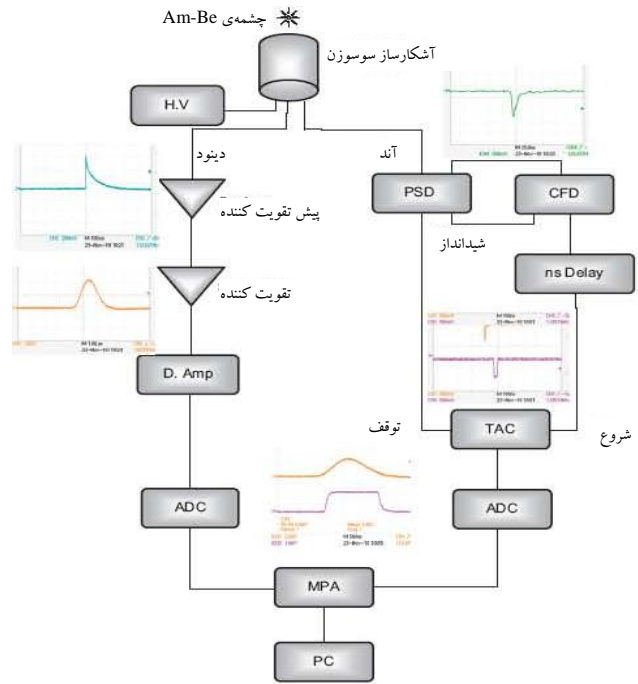
شکل ۷. الف) طیف جداسازی نوترون-گاما در پیش‌ولت ۵۰۰keV (ب) پاسخ نوترونی آشکارساز سوسوزن NE213 قرار گرفته در معرض چشمه نوترونی $^{241}\text{Am-Be}$.



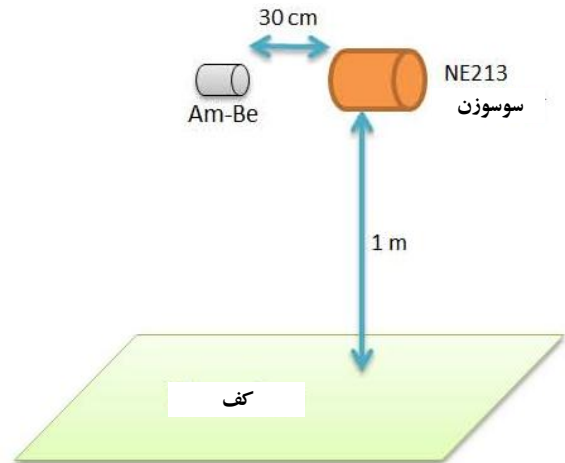
شکل ۸. مقایسه‌ی پاسخ شبیه‌سازی با کد MCNPX-PHOTRACK با نتایج تجربی برای آشکارساز سوسوزن NE213 قرار گرفته در معرض چشمه نوترونی $^{241}\text{Am-Be}$.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

پاسخ سوسوزن NE213 با استفاده از کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK محاسبه شد. منحنی گسیل سوسوزن، ضریب تضعیف، بهره‌ی کوانتومی لوله‌ی تکثیرکننده‌ی فوتونی و ضریب انعکاس رنگ، که همه وابسته به طول موج‌اند، در برنامه‌ی شبیه‌سازی در نظر گرفته شد. با استفاده از این مطالعه می‌توان اثرات هندسه و سطوح مختلف آشکارساز و نوربر بر قدرت تفکیک و بازده آشکارساز را بررسی نمود، به طوری که قبل از اقدام به ساخت سوسوزن، مطالعه‌ی شبیه‌سازی آشکارساز می‌تواند در بهینه‌سازی ابعاد و شاخص‌های نوری مورد استفاده قرار گیرد. مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی حاصل از کد تلفیقی با نتایج تجربی نشان داد که کد تلفیقی برای شبیه‌سازی پاسخ نوترونی آشکارساز سوسوزن NE213 با استفاده از انواع چشمه‌های نوترونی (تک انرژی و یا با طیف گسترده انرژی) مناسب است.

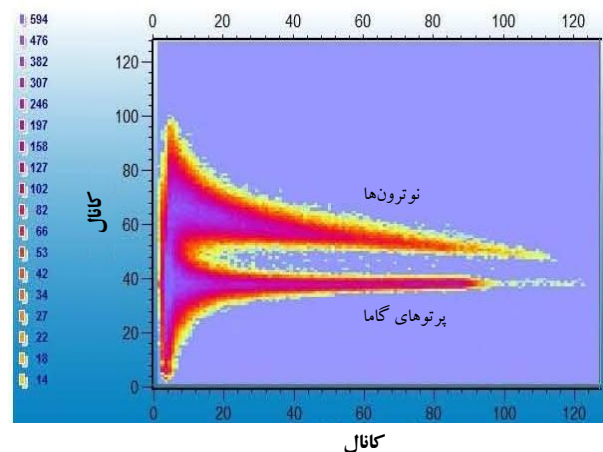


شکل ۵. چیدمان آزمایش جداسازی نوترون-گاما به روش گذر از صفر.



شکل ۶. نحوه‌ی قرارگیری چشمه، آشکارساز و سطح زمین.

(الف)





1. H. Klein, F. D. Brooks, Scintillation detectors for fast neutrons, Proceedings of the Conference FNDA, International Workshop on Fast Neutron Detectors, University of Cape Town, South Africa, (April 2006) 3–6.
2. E. Bayat, N. Divani-Vais, M. M. Firoozabadi, N. Ghal-Eh, A comparative study on neutron-gamma discrimination with NE213 and UGLLT scintillators using zero-crossing method, Radiation Physics and Chemistry, 81 (2012) 217–220.
3. G. F. Knoll, Radiation Detection and Measurements, Third ed. Wiley, New York (2000).
4. K. Weise, Mathematical foundation of an analytical approach to Bayesian-statistical Monte Carlo spectrum unfolding, PTB Report PTB-N-24, Braunschweig (1995).
5. Klein, Horst, Sonja Neumann, Neutron and photon spectrometry with liquid scintillation detectors in mixed fields, Nucl. Instrum. Meth. A476 (2002) 132–142.
6. S. Avdic, S. A. Pozzi, V. Protopopescu, Detector response unfolding using artificial neural networks, Nucl. Instrum. Meth., A 565 (2006) 742–752.
7. A. Sharghi Ido, M. R. Bonyadi, G. R. Etaati, M. Shahriari, Unfolding the neutron spectrum of a NE213 scintillator using artificial neural networks, Appl. Rad. Isotop., 67 (2009) 1912–1918.
8. J. K. Dickens, SCINFUL: A Monte Carlo based computer program to determine a scintillator full energy response to neutron, Report ORNL-6463, Oak Ridge (1988).
9. R. E. Textor, V. V. Verbinski, O5S: a Monte Carlo code for calculating the pulse-height distributions due to mono-energetic neutrons on organic scintillators, Oak Ridge National Laboratory, ORNL-4160 (1968).
10. A. Borio di Tigliole, A. Cesana, R. Dolfini, A. Ferrari, G. L. Raselli, P. Sala, M. Terrani, FLUKA simulations for low-energy neutron interactions and experimental validation, Nucl. Instrum. Meth., A 469 (2001) 347–353.
11. K. Schweda, D. Schmidt, Improved response function calculations for scintillation detectors using an extended version of the MCNP code, Nucl. Instrum. Meth., A 476 (2002) 155–159.
12. M. Gohil, K. Banerjee, S. Bhattacharya, C. Bhattacharya, S. Kundu, T. K. Rana, G. Mukherjee, J. K. Meena, R. Pandey, H. Pai, T. K. Ghosh, A. Dey, S. Mukhopadhyay, D. Pandit, S. Pal, S. R. Banerjee, T. Bandhopadhyay, Measurement and simulation of neutron response function of organic liquid scintillator detector, Nucl. Instrum. Meth., A 664 (2012) 304–309.
13. J. S. Hendricks, G. W. McKinney, L. S. Waters, F. X. Gallmeier, MCNPX 2/6/0 Extensions, Los Alamos National Laboratory (2008).
14. G. R. Etaati, N. Ghal-Eh, Light transport feature for SCINFUL, Appl. Radiat. Isot., 66 (2008) 395–400.
15. M. Tajik, N. Ghal-Eh, G. R. Etaati, H. Afarideh, Modelling NE213 scintillator response to neutrons using an MCNPX-PHOTRACK hybrid code, Nucl. Instr. Meth., A704 (2013) 104–110.
16. C. Bähr, R. Böttger, H. Klein, P. von Neumann-Cosel, A. Richter, D. Schmidt, K. Schweda, S. Strauch, Calculation of neutron response functions in complex geometries with the MCNP code, Nucl. Instrum. Meth., A 411 (1998) 430–436.
17. International Standards Organization. Reference neutron radiations-Part 1: Characteristics and methods of production. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; ISO-8529-1 (2001).
18. V. V. Verbinski, W. R. Burrus, T. A. Love, W. Zobel, N. W. Hill, Calibration of an organic scintillator for neutron spectrometer, Nucl. Instrum. Meth., 65 (1968) 8–25.
19. S. Green, M. C. Scott, R. Koochi-Fayegh, A user guide for the NPL NE213 neutron spectroscopy system, School of Physics and Astronomy, The University of Birmingham, UK (1991).
20. R. A. Cecil, B. D. Anderson, R. Madey, Improved predictions of neutron to about 300 MeV, Nucl. Instrum. Meth., 161 (1979) 439–447.
21. N. Ghal-Eh, M. C. Scott, R. Koochi-Fayegh, M. F. Rahimi, A photon transport model code for use in scintillation detectors, Nucl. Instrum. Meth., A 516 (2004) 116–121.
22. N. Ghal-Eh and R. Koochi-Fayegh, Light collection behaviour of scintillators with different surface coverings, Radiat. Meas., 41 (2006) 289–294.
23. H. H. Knox, T. G. Miller, A technique for determining bias settings for organic scintillators, Nucl. Instrum. Meth., 101 (1972) 519–525.