



دانشگاه گیلان

بررسی اثر طول نوربر بر بازدهی سوسوزن مایع NE_{213} برای فوتونهای چشمه

$^{241}\text{Am-Be}$ با استفاده از کد تلفیقی MCNPX - PHOTRACK

مجتبی، تاجیک*؛ نیما، قلعه^۲؛ غلامرضا، اطاعتی^۳؛ حسین، آفریده^۳

۱ و ۲. دانشگاه دامغان، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای و ذرات بنیادی

۳. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک

چکیده

پاسخ مجموعه سوسوزن NE_{213} و نوربر به فوتونهای چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ با استفاده از کد مونت کارلوی تلفیقی PHOTRACK-MCNPX شبیه‌سازی شده و اثر طول نوربر بر بازدهی سوسوزن مایع NE_{213} به صورت نظری و تجربی بررسی شده است. نتایج شبیه‌سازی توافق خوبی با نتایج تجربی اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: نوترون، پاسخ آشکارساز NE_{213} ، کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK

مقدمه

سوسوزن آلی از نوع NE_{213} به علت دارا بودن ترکیبات هیدروژن‌دار و عدداتمی میانگین کم، در طیف‌سنجی نوترون و نیز به علت پاسخ زمانی نسبتاً سریع، در اندازه‌گیری‌های زمانی متنوع مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. نوربر، جسم شفاف اپتیکی با ضریب شکست نسبتاً بالا است که عمل هدایت نور را بر عهده دارد. اساساً استفاده از نوربر به سه منظور انجام می‌شود ۱- در شرایطی که محل آشکارساز (سلول سوسوزن) و محل قرار گرفتن تکثیرکننده نوری بایستی با فاصله از یکدیگر قرار باشند ۲- زمانی که استفاده از نوربر صرفاً برای بهبود قدرت تفکیک آشکارسازی انجام می‌شود. ۳- اختلاف اندازه سلول سوسوزن و تکثیرکننده نوری.

نوربرها براساس اصل بازتاب کلی کار می‌کنند و سطوح این نوربرها برای کارایی مناسب باید خوب پرداخت شده و یا با یک پوشش بازتابنده مانند فویل آلومینیم به شکل خاصی پوشانده شوند. در این مقاله به بررسی تجربی و شبیه‌سازی اثر ابعاد نوربر بر بازدهی آشکارساز سوسوزن NE_{213} پرداخته شده است. هنگامی که سوسوزن NE_{213} در معرض تابشهای نوترون و گاما قرار می‌گیرد فوتونهای سوسوزنی متناسب با میزان انباشت انرژی تولید می‌شود. تعداد فوتونهای جمع‌آوری شده در فوتوکاتد، ارتفاع‌تپ رویداد را تعیین می‌کند، بطورکلی جمع‌آوری فوتونهای سوسوزنی لزوماً در سراسر سوسوزن یکنواخت نیست بنابراین در اندازه‌گیریهای دقیق توسط سوسوزنها، جمع‌آوری یکنواخت سوسوزنی بسیار با اهمیت است. در مراجع [۲-۴]، با قرار دادن نوربر مابین سوسوزن و لامپ تکثیرکننده فوتونی برای بهبود جمع‌آوری یکنواخت فوتونهای سوسوزنی و قدرت تفکیک انرژی استفاده شده است. همچنین در این مراجع با قراردادن نوربر مابین سوسوزن و لامپ



تکثیرکننده فوتونی پاسخ نوترونی آشکارساز NE۲۱۳ را نسبت به انرژیهای مختلف نوترون بطور تجربی بررسی نموده اند اما در هیچکدام از این پژوهشها مجموعه چشمه نوترون، سوسوزن و نوربر شبیه سازی نشده است. در این کار با استفاده از کد MCNPX-PHOTRACK به بررسی مورد ذکر شده پرداخته شده است. کد MCNPX ترابرد نوترون و ذرات ثانویه تولید شده را انجام می دهد و کد PHOTRACK ترابرد فوتونهای سوسوزنی را بر عهده دارد [۵].

۱. مطالعات شبیه سازی

۱-۱. تعریف ورودی و محاسبه انرژی ذخیره شده و نور خروجی ذرات ثانویه باردار ناشی از تابش نوترون در سلول آشکارساز

به منظور شبیه سازی پاسخ مجموعه آشکارساز NE۲۱۳ و نوربر به نوترونهای چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ ، سوسوزن مایع NE۲۱۳ رنگ آمیزی شده به قطر ۵/۰۸ و ارتفاع ۵/۰۸ سانتی متر و نوربرهایی به قطر ۵/۰۸ و ارتفاع ۴، ۳ و ۵ سانتی متر در نظر گرفته شد. کارت PTRAC در کد MCNPX، تمام تاریخچه ذره از قبیل نوع برهمکنش، جهت و موقعیت ذره را ثبت می کند. با نوشتن یک برنامه پس پردازش، با توجه به نوع و موقعیت رویداد، جهت حرکت و انرژی جنبشی ذره که از خروجی کارت PTRAC دریافت می شود، میزان انرژی انباشته شده ناشی از ذرات باردار مختلف در سوسوزن محاسبه می گردد در برنامه پس پردازش با فراخوانی کد PHOTRACK، در همان محل انباشت انرژی ذرات باردار، ۱۰۰۰۰ فوتون مرئی تولید و ترابرد می شود. در گامهای بعدی، به مرور از وزن آماری اولیه این فوتونهای مرئی کاسته می شود و نهایتاً وزن نهایی آنها با ورود به فوتوکاتد ثبت می شود. میانگین وزن ثبت شده در فوتوکاتد، در نور خروجی بدست آمده از روابط (۱) تا (۴) مربوط به ذرات باردار ثانویه ایجاد شده، ضرب می شود و با در نظر گرفتن اثر دیواره (رابطه (۵))، مجموع نور خروجی همه ذرات ثانویه محاسبه می گردد. هنگامی که فرآیندهای ذکر شده برای تعداد زیادی از نوترونهای فرودی تکرار شود، رسم منحنی فراوانی نور کل ترابرد شده، مانسته طیف ارتفاع تپ سوسوزن خواهد بود.

$$L(E_p) = L_{ee} = 0.6605 E_p^{-1} / 64456 [1 - \exp(-0.37686 E_p^{1/96652})] \quad (1)$$

$$L(E_a) = L_{ee} = 0.391 E_a^{-4} / 109 [1 - \exp(-0.0805 E_a^{1/1})] \quad (2)$$

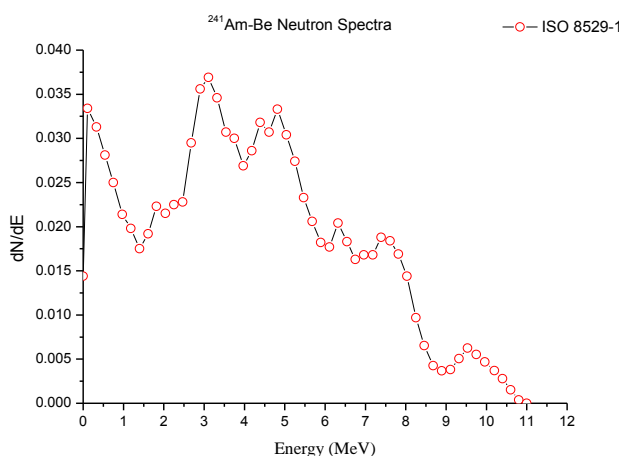
$$L(E_c) = L_{ee} = 0.138 E_c^{-7.5} / 786 [1 - \exp(-0.01745 E_c^{1/0.07})] \quad (3)$$

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

$$L = L(E_K, x) - L(E_K - E_{dep}, x) \quad (5)$$



که در روابط فوق، L_{ee} ، نور خروجی ناشی از ذرات باردار است که بر حسب $MeVee$ بیان می‌شود ($1 MeVee$)، انرژی ذره بارداری است که می‌تواند با آن انرژی، نوری برابر با نور یک الکترون با انرژی $1 MeV$ در سوسوزن تولید کند) و $L(E_e^-)$ ، $L(E_C)$ ، $L(E_\alpha)$ ، $L(E_p)$ به ترتیب نور خروجی پروتون، آلفا، کربن و الکترون می‌باشد. در مطالعات گرین و وربینسکی، نور حاصل از برلیوم برابر با یک سوم نور کربن در نظر گرفته شده است [۶ و ۷]. در رابطه E_K (۵) انرژی جنبشی ذرات باردار ثانویه تولید شده از نوع x در ماده سوسوزن، E_{dep} انرژی انباشته شده در داخل ماده سوسوزن و x نوع ذره بارداری است که انباشت انرژی در داخل سوسوزن داشته است.



شکل ۱. طیف انرژی چشمه $^{241}Am-Be$ مورد استفاده برای شبیه‌سازی پاسخ نوترونی آشکارساز سوسوزن NE۲۱۳ [۸].

۲-۱. پیچش قدرت تفکیک اضافی ناشی از قدرت تفکیک ذاتی و PMT.

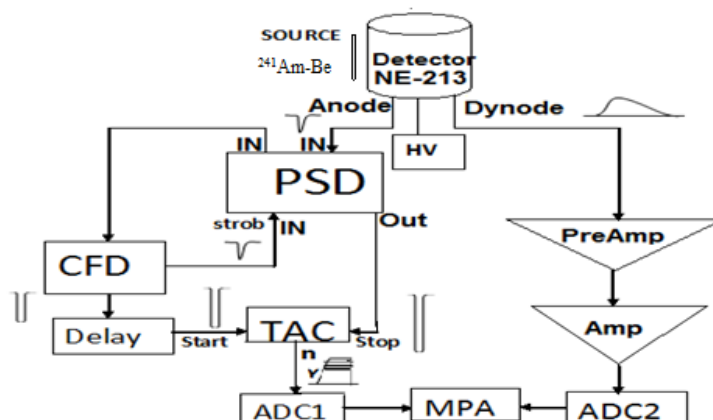
برای فراهم آمدن امکان مقایسه داده‌های شبیه‌سازی و تجربی، یک پهن‌شدگی اضافی نیز باید بر روی طیف شبیه‌سازی مرحله قبل اعمال شود که اساساً ناشی از حضور PMT (که می‌تواند به نایکنواختی سطح فوتوکاتد و تکثیر الکترون در زنجیره‌ی دینودی مرتبط باشد) و نیز نوفه الکترونیک است. این قدرت تفکیک اضافی معمولاً با پیچش یک تابع گوسی در طیف خروجی حاصل از کد MCNPX-PHOTRACK انجام می‌شود. وابستگی خروجی نوری به این قدرت تفکیک اضافی، توسط گرین و همکاران [۷] اندازه‌گیری شده که بر این اساس $R = \frac{12/98}{L^{0.24}}$ برای $L > 0.3 MeVee$ و $R = \frac{16/22}{L^{0.21}}$ برای $L < 0.3 MeVee$ بدست آمده است [۷]. در روابط ذکر شده، R قدرت تفکیک و L نور خروجی سوسوزن می‌باشد. پس از انجام مراحل شبیه‌سازی ذکر شده پاسخ مجموعه آشکارساز NE۲۱۳ و نوربرهایی به قطر $5/08$ و ارتفاع ۳، ۴ و ۵ برای نوترونهای چشمه $^{241}Am-Be$ بدست آمد. این نتایج در شکل (۳) نشان داده شده است.



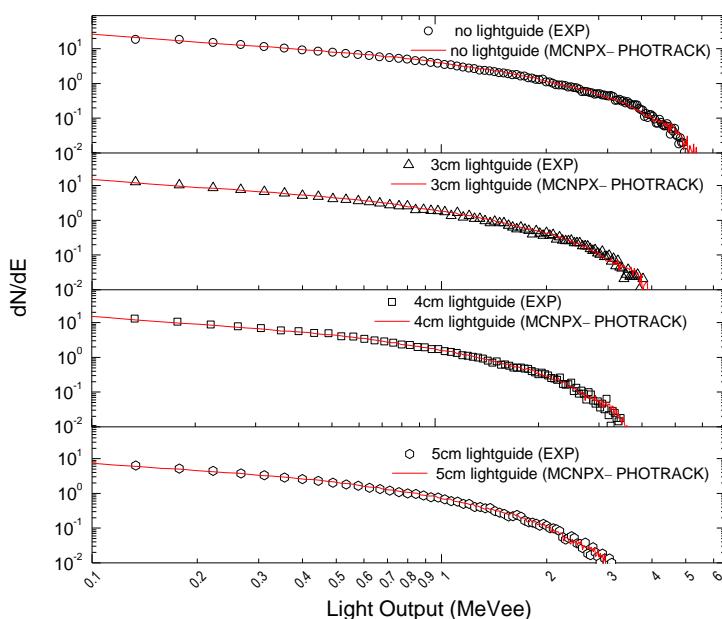
۲. مطالعات تجربی

۱-۲. اندازه‌گیری پاسخ آشکارساز NE۲۱۳ به همراه نوربر برای نوترونهای چشمه $^{241}\text{Am-Be}$

در این آزمایشها هدف بررسی اثر طول نوربر بر پاسخ آشکارساز، سلول سوسوزن مایع ($\text{NE}213$) است. سطح داخلی سلول سوسوزن کاملاً با رنگ بازتابنده ELGEN EJ۵۲۰ برای افزایش بهره آشکارسازی پوشانده شده است. نوربرهای به کار رفته از جنس پلکسی ($n_d = 1/512$) به قطر $5/08$ و ارتفاع $3, 4$ و 5 سانتی‌متر هستند که با روغن سیلیکون از نوع ۶۲۶۲A شرکت OKEN به لامپ تکثیرکننده نوری مدل XP۲۰۲۰ ساخت شرکت فوتونیس متصل شده‌اند. به منظور مقایسه نتایج شبیه‌سازی با نتایج تجربی پاسخ سوسوزن، لازم است با استفاده از مدار جداسازی، مشارکت پرتوهای گاما را از طیف آشکارساز حذف کرد. مدار جداسازی که بر اساس روش گذراز صفر عمل می‌کند در شکل (۲) نشان داده شده است. مطابق با شکل (۲) علامت خروجی داینود وارد پیش‌تقویت‌کننده و سپس وارد تقویت‌کننده می‌شود. در این مرحله علاوه بر شکل‌دهی تپ ارتفاع آن تنظیم می‌شود. تپ خروجی از تقویت‌کننده با استفاده از یک Delay Amp. با خروجی TAC همزمان شده و سپس وارد ADC و سپس به یکی از کانال‌های تحلیلگر چند کاناله (MPA) وارد می‌شود. خروجی‌های واحدهای PSD و CFD به ترتیب به ورودی‌های STOP و START واحد TAC داده می‌شود، خروجی‌های همزمان TAC و Delay Amp. هر کدام به واحد ADC جداگانه‌ای وصل شده و نهایتاً به دو کانال MPA داده می‌شوند. با استفاده از MPA، طیف جداسازی شده نوترون-گاما را می‌توان مشاهده نمود. این آزمایش با چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ با فعالیت 100mCi انجام شده و فاصله چشمه تا آشکارساز تقریباً 30cm در نظر گرفته شده است. به منظور جلوگیری از اثرات پس‌پراکندگی، آشکارساز در فاصله 1m از سطح زمین و $1/5\text{m}$ از دیوارها قرار داده شد. از چشمه گامای ^{22}Na نیز برای مدرج‌سازی محور انرژی استفاده شده است، از چشمه گامای ^{22}Na برای مدرج‌سازی محور انرژی استفاده شده است. در مدرج‌سازی‌های انجام شده طبق قرارداد 89% ارتفاع بیشینه لبه پس‌زنی کامپتون قله $1/274\text{MeV}$ به عنوان یک واحد نوری یا 1MeVee تعریف شده است [۹]. با تعریف فوق، کانال شماره $22/6$ معادل یک واحد نوری می‌باشد. پس از مدرج‌سازی محور انرژی، از طیف‌های جداسازی نوترون-گامای بدست آمده، طیف‌های پاسخ نوترونی مجموعه آشکارساز سوسوزن مایع NE۲۱۳ و نوربرهای صیقلی، با طولهای $3, 4$ و 5 سانتی‌متری، (شکل (۳)) بدست می‌آید.



شکل ۲. چیدمان آزمایش جداسازی نوترون-گاما به روش گذراصفر



شکل ۳. مقایسه پاسخ شبیه‌سازی شده کد MCNPX-PHOTRACK با نتایج تجربی برای آشکارساز سوسوزن NE213 که در معرض چشمه نوترون $^{241}\text{Am-Be}$ قرار گرفته است.

۴. تحلیل نتایج

مقایسه نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی پاسخ آشکارساز NE213 بدون نوربر و با نوربر برای نوترونهای چشمه $^{241}\text{Am-Be}$ در شکل (۳) نشان می‌دهد که با افزایش طول نوربر کاهش بازدهی جمع‌آوری نور بوضوح مشاهده می‌شود. بطوریکه میزان این کاهش نسبت به حالت بدون نوربر برای نوربرهایی با طولی به ابعاد ۳cm، ۴cm و



۵cm به ترتیب ۲۰٪، ۳۱/۱٪ و ۴۰/۹٪ حاصل شده است. خطای نسبی برآورد بازدهی جمع آوری نور کمتر از ۲٪ است. مقایسه نتایج تجربی با شبیه‌سازی در شکل (۳) نشان می‌دهد که شبیه‌سازی کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK با نتایج تجربی همخوانی قابل قبولی دارد.

۵. نتیجه‌گیری

اثرات طول نوربر بر روی پاسخ سوسوزن NE۲۱۳ با استفاده از کد تلفیقی MCNPX-PHOTRACK شبیه‌سازی شده است، این بررسیها نشان می‌دهد که نتایج شبیه‌سازی حاصل از کد تلفیقی توافق خوبی با نتایج تجربی دارد و می‌توان با استفاده از این کد تلفیقی برآوردهای خوبی از میزان تأثیر پارمترهای اپتیکی بر قدرت تفکیک و بازدهی آشکارساز سوسوزن بدست آورد.

مراجع

- [۱] 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 ۳-۶ (۲۰۰۶).
- [۲] R.B.Gallowy and D.G.Vass, A light guide design for uniform sensitivity over a large diameter scintillator coupled to a single photomultiplier, Nucl. Instr. Meth., ۳۳ ۳۵-۳۸ (۱۹۷۰).
- [۳] H. Harano et al., Improvement of Photon Collection Uniformity From an NE۲۱۳ Scintillator Using a Light Guide, IEEE Trans. Nucl. Sci., ۵۲, No. ۶, ۳۱۴۷-۳۱۵۰ (۲۰۰۵).
- [۴] H. Shoelermann and H. Klein, Optimizing the energy resolution of scintillation counters at high energies, Nucl. Instr. Meth., ۱۶۹ ۲۵-۳۱ (۱۹۸۰).
- [۵] M.Tajik, N. Ghal-Eh, G.R. Etaati, H. Afarideh, Modeling NE۲۱۳ scintillator response to neutrons using an MCNPX-PHOTRACK hybridcode, Nucl. Instr. Meth., A ۷۰۴ ۱۰۴-۱۱۰ (۲۰۱۳).
- [۶] V. V. Verbinski et al., Calibration of an organic scintillator for neutron spectrometer, Nucl. Instrum. Meth., ۶۵ ۸-۲۵ (۱۹۶۸).
- [۷] S. Green, M. C. Scott and R. Koochi-Fayegh, A User Guide for the NPL NE۲۱۳ Neutron Spectroscopy System, School of Physics and Astronomy, The University of Birmingham, UK (۱۹۹۱).
- [۸] International Standards Organization. Reference neutron radiations-Part ۱: Characteristics and methods of production. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; ISO-۸۵۲۹-۱ (۲۰۰۱).
- [۹] H. H. Knox, T. G. Miller., A technique for determining bias settings for organic scintillators, Nucl. Instrum. Meth., ۱۰۱, ۵۱۹-۵۲۵ (۱۹۷۲).