



تعیین منحنی کالیبراسیون انرژی آشکارساز سوسوزن پلاستیک جهت شمارش نوترون های حرارتی

عزیزی، مریم*^(۱) - عباسی دوانی، فریدون^(۱) - قاسمی، بهجت^(۱) - محمدی، عقیل^(۲)

^(۱) دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای، گروه کاربرد پرتو

^(۲) دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، گروه کاربرد پرتوها

چکیده:

طراحی، ساخت و بهره برداری از آشکارسازهای پرتوهای هسته ای نیازمند تعیین منحنی پاسخ انرژی، بازدهی و بطور کلی منحنی کالیبراسیون است. در این مقاله یک دستگاه آشکارساز سوسوزن پلاستیک تخت همراه با جاذب نوترون حرارتی از جنس ^{10}B روی سطح آن جهت اندازه گیری شار نوترون های حرارتی در دستور کار قرار گرفته است. در این آشکارساز شمارش ذرات آلفای ناشی از اندرکنش نوترون های حرارتی با ^{10}B معیاری از شمارش نوترون می باشد. لذا جهت تعیین منحنی کالیبراسیون این آشکارساز از چشمه گسیلنده آلفا ^{241}Am و تولید ذرات آلفا با انرژی های مختلف از طریق فیلترهایی با ضخامت $6 \mu m$ و چگالی $1/6 g/cm^3$ استفاده شده است.

کلمات کلیدی: سوسوزن پلاستیک، جاذب نوترون حرارتی، کالیبراسیون انرژی، آشکارسازی نوترون

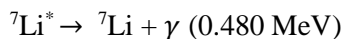
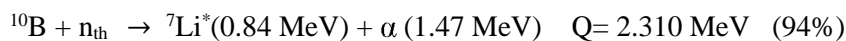
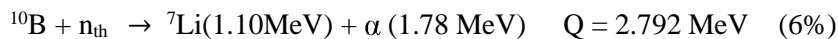
مقدمه :

برخلاف بسیاری از ذرات باردار که به صورت مستقیم با ماده واکنش می کنند، نوترون ها با استفاده از ذرات ثانویه قابل آشکارسازی هستند. این ذرات یا از طریق واکنش های هسته ای تولید می شوند، یا می توانند خود هسته های ماده جاذب باشند که طی برخورد های نوترون انرژی کسب کرده اند [۱]. اغلب آشکارسازهای نوترون از نوعی واکنش تبدیل نوترون فرودی به ذرات باردار ثانویه، که مستقیماً قابل آشکارسازی هستند، استفاده می کنند.

از جمله اثراتی که برای آشکارسازی تابش ها استفاده می شود، عبارتند از: الکتریکی (اتافک یونش، شمارنده تناسبی، شمارنده گایگر و آشکارساز حالت جامد)، نور (سوسوزن ها، شمارنده چرنکوف و دزسنج نورلیان)، تغییری در رنگ (امولسیون ها) و.. فرآیند سوسوزنی یکی از مفیدترین روش های موجود برای آشکارسازی تابش ها به شمار می رود. سوسوزن های آلی از قبیل مایع و پلاستیک اغلب برای آشکارسازی نوترون های سریع مورد استفاده قرار می گیرند. این مواد به دلیل وجود هیدروژن و موادی با عدد اتمی پایین در آنها به نوترون های سریع از طریق فرآیند پس زنی پروتون پاسخ می دهند، در این فرآیند، نوترون کسری از انرژی خود را به هسته پراکنده کننده (هسته های پس زده)، منتقل می کند. این در صورتی است که انرژی منتقل شده به هسته های پس زده بوسیله نوترون های کند، بسیار کوچک است. بنابراین



انرژی هسته‌های پس‌زده بقدری کوچک خواهد بود که قابل استفاده برای آشکارسازی نیست، در نتیجه وقتی انرژی نوترون‌ها به حدود keV می‌رسد، هسته‌های پس‌زده می‌توانند مستقیماً آشکارسازی شوند و این برای آشکارسازی نوترون‌های سریع بسیار مهم است [۲]. بنابراین به منظور به کارگیری این سوسوزن‌ها در آشکارسازی نوترون‌های حرارتی لازم است از عناصری که دارای سطح مقطع بالایی برای اندرکنش با نوترون‌های حرارتی هستند استفاده شود [۳-۶]. بدین ترتیب امکان آشکارسازی نوترون با بازدهی بالا فراهم می‌شود. بنابراین در این مقاله یک دستگاه آشکارساز سوسوزن پلاستیک تخت همراه با جاذب نوترون حرارتی از جنس ^{10}B روی سطح آن جهت اندازه‌گیری شار نوترون‌های حرارتی در دستور کار قرار گرفته است. بور دارای دو ایزوتوپ ^{10}B و ^{11}B است که ^{10}B با فراوانی ۱۹/۹٪ دارای سطح مقطع بالایی برای جذب نوترون‌های حرارتی است. در اثر جذب نوترون‌های حرارتی در بور، α و ^7Li تولید می‌شوند [۲] که در برخورد با ماده سوسوزن تولید نور کرده و آشکارسازی می‌شوند.



در این آشکارساز شمارش ذرات آلفای ناشی از اندرکنش نوترون‌های حرارتی با ^{10}B معیاری از شمارش نوترون خواهد بود. جهت شمارش صحیح نوترون، لازم است کالیبراسیون انرژی برای آشکارساز سوسوزن پلاستیک صورت گیرد. بنابراین در این مقاله سعی شده است با تضعیف انرژی ذرات آلفای گسیلی از چشمه ^{241}Am توسط فیلترهایی با ضخامت مختلف و در نتیجه تولید ذرات آلفا با انرژی‌های مختلف، منحنی کالیبراسیون آشکارساز به منظور شمارش ذرات آلفای گسیلی از اندرکنش نوترون حرارتی با بور تعیین شود.

روش کار :

سوسوزن پلاستیک مورد استفاده در این پژوهش، از نوع BC-400 است که دارای قطر ۶۰mm و ضخامت ۵ mm بوده و بصورت دیسکی مورد استفاده قرار گرفته است. پودر کاربید بور (با فرمول شیمیایی B_4C) به عنوان ترکیبی از ^{10}B ، به دلیل دارا بودن سطح مقطع اندرکنش بالا (۳۸۴۰ barn) با نوترون‌های حرارتی، فراوانی طبیعی بالای آن (۱۹/۸٪) و همچنین گسیل ذرات باردار در اثر جذب نوترون حرارتی، به منظور قرارگیری روی سطح آشکارساز سوسوزن پلاستیک استفاده گردید. در اثر اندرکنش نوترون‌های حرارتی با بور، ذرات آلفا با انرژی $1/470 \text{ MeV}$ گسیل می‌شوند که در اثر برخورد با سوسوزن پلاستیک نور تولید کرده و آشکارسازی می‌شوند. جهت تعیین منحنی کالیبراسیون این آشکارساز، با توجه به اینکه ذرات آلفا با انرژی نزدیک یا مساوی با ذرات آلفای گسیل شده از واکنش نوترون حرارتی با ^{10}B در دسترس نبود. از



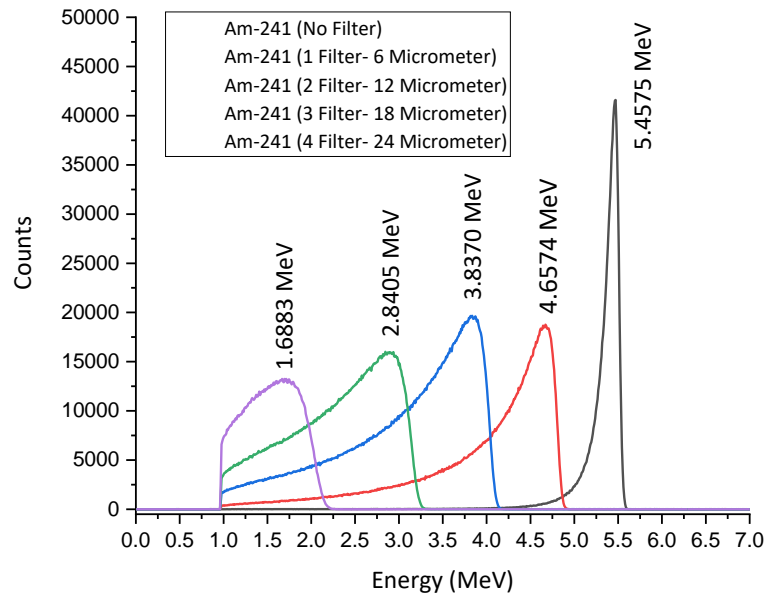
چشمه ^{241}Am بعنوان گسیلنده ذرات آلفا و فیلتر (فیلتر مورد استفاده فویل PETP ساخت شرکت Goodfellow با چگالی $1/6 \text{ g/cm}^3$ و ضخامت $6 \mu\text{m}$) به منظور تولید ذرات آلفا با انرژی‌های مختلف استفاده شده است (جدول ۱). در واقع با افزایش تعداد فیلترهایی که در مقابل چشمه ^{241}Am قرار می‌گیرد، تضعیف انرژی ذرات آلفا بیشتر می‌شود. سپس به منظور اندازه‌گیری انرژی ذرات آلفای عبوری از فیلترها از آشکارساز PIPS، سیستم طیف‌سنجی شامل آمپلی‌فایر طیف‌سنجی مدل ۳۶۰۰ و واحد الکترونیکی تحلیل گر چند کاناله مدل ۴۱۱۰ و نرم افزار مناسب طیف‌سنجی استفاده شده است. نتایج حاصل از قرار دادن ضخامت‌های مختلف فیلتر در مقابل چشمه ^{241}Am به منظور دستیابی به ذرات آلفا با انرژی‌های مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است.

همچنین، برای اندازه‌گیری طیف انرژی ذرات آلفای عبوری از فیلترها (جدول ۱) توسط آشکارساز سوسوزن پلاستیک از سیستم طیف‌سنجی فوق‌با بهره‌دیگری استفاده شد. آشکارساز سوسوزن پلاستیک روی لامپ تکثیرکننده فوتونی مدل XP33K0 قرار گرفت. جهت جلوگیری از وجود هوا بین آشکارساز و لامپ تکثیرکننده فوتونی از گریس سیلیکونی استفاده شد سپس چشمه ^{241}Am به ترتیب با ۱، ۲، ۳ و ۴ فیلتر در مقابل سوسوزن پلاستیک قرار گرفت و طیف انرژی آن در هر مرحله ثبت شد. نتایج این اندازه‌گیری در شکل ۲ نشان داده شده است. ولتاژ کار PMT برابر $1060+$ و بهره آمپلی‌فایر طیف‌سنجی برابر با $114/3$ تعیین شد. کلیه اندازه‌گیری‌ها با آشکارساز سوسوزن پلاستیک، در اتاق تاریک با ابعاد 1 m^3 انجام گردیده است.

در نهایت به منظور تعیین منحنی کالیبراسیون آشکارساز پلاستیک، با داشتن انرژی ذرات آلفا بعد از عبور از فیلتر، که از طریق آشکارساز PIPS (شکل ۱) اندازه‌گیری شده است و شماره قله انرژی (کانال) نیز که از طریق طیف انرژی اندازه‌گیری شده ذرات آلفا توسط آشکارساز سوسوزن پلاستیک (شکل ۲)، تعیین شده بود (لازم به ذکر است برای تعیین کانال متناظر با هر قله موجود در شکل ۲، با استفاده از نرم افزار Origin تابع گاوسی بر آن برازش شد و مرکز آن تعیین شد). امکان کالیبراسیون آشکارساز فراهم شد. منحنی آن در شکل ۳ نشان داده شده است.

نتایج:

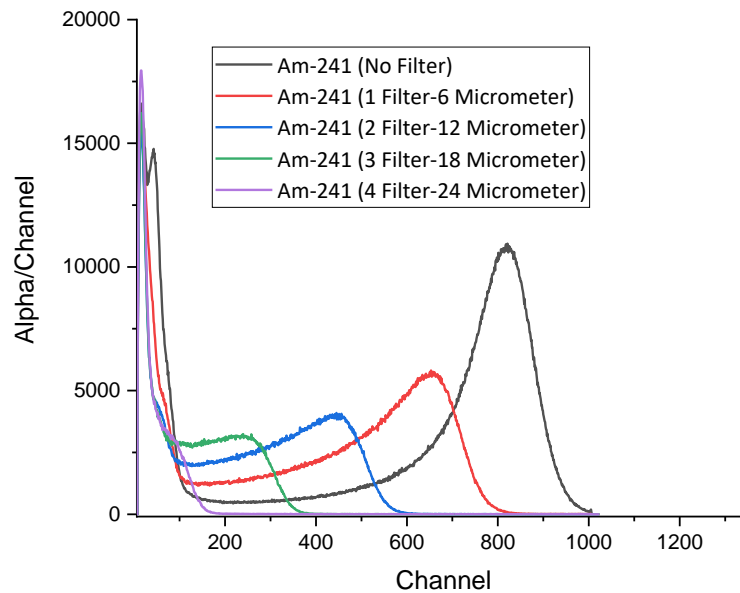
نتایج حاصل از اندازه‌گیری انرژی ذرات آلفا با استفاده از آشکارساز PIPS در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۱ انرژی ذرات آلفا بعد از عبور از فیلترها گزارش شده است.



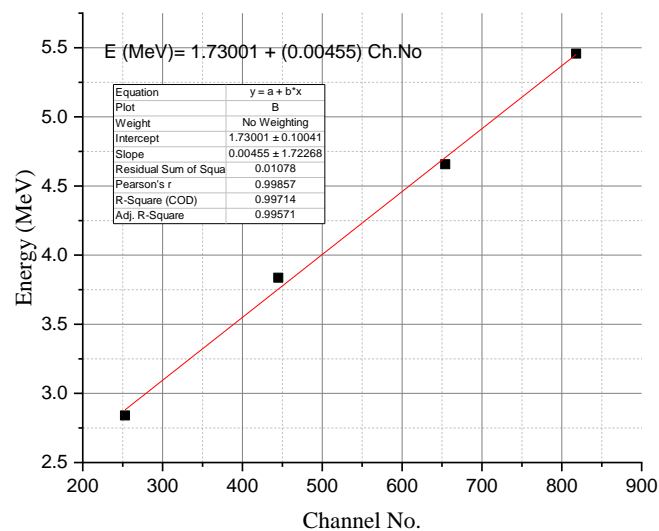
شکل (۱). طیف انرژی ذرات آلفای عبوری از فیلترها با ضخامت های مختلف با استفاده از آشکارساز PIPS

جدول (۱). انرژی نهایی ذرات آلفا بعد از عبور از فیلترهایی با ضخامت مختلف

انرژی ذرات آلفا پس از عبور از فیلتر (MeV)	مجموع ضخامت فیلتر (μm)	تعداد فیلتر قرار گرفته در مقابل چشمه ²⁴¹ Am
۵/۴۵۷۵	۰	۰
۴/۶۵۷۴	۶	۱
۳/۸۳۷۰	۱۲	۲
۲/۸۴۰۵	۱۸	۳
۱/۶۸۸۳	۲۴	۴



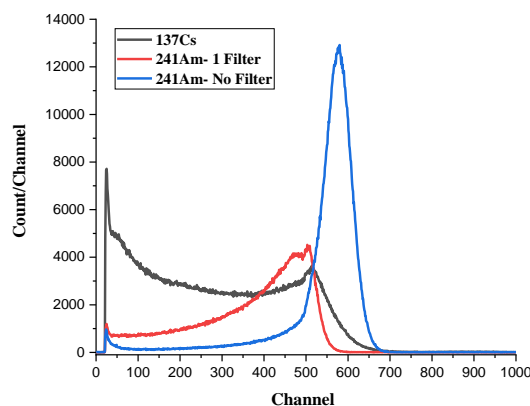
شکل (۲). طیف انرژی ثبت شده ذرات آلفا با استفاده از آشکارساز سوسوزن پلاستیک دیسکی شکل



شکل (۳). منحنی کالیبراسیون انرژی آشکارساز سوسوزن پلاستیک



با توجه به اینکه در اثر اندرکنش نوترون با ^{10}B به طور همزمان ذرات آلفا (با انرژی $1/470 \text{ MeV}$) و پرتو گاما (با انرژی $0/480 \text{ MeV}$) تولید می‌شوند، جهت اندازه‌گیری دقیق شار نوترون‌های حرارتی نیاز است که سیگنال ناشی از پرتو گاما و ذرات آلفا بطور همزمان شمرده شوند. برای اینکار لازم است بازه‌ای از طیف انرژی که مختص انرژی پرتو گاما (لبه کامپتون) و آلفا (محدوده قله انرژی) می‌باشد از تبعیضگر تک کاناله در یک پنجره انرژی مربوطه عبور داده شوند و سپس با مدار زمانگیری همزمان شوند. در صورتیکه اینکار انجام گردد می‌توان گفت که شمارش نوترون‌های حرارتی با دقت بهتری انجام می‌گیرد. بنابراین، یکی از ملاحظات یکی از آشکارساز می‌بایست مد نظر قرار گیرد این است که طیف انرژی پرتو گاما (لبه کامپتون) و ذرات آلفای گسیلی از واکنش نوترون حرارتی با ایزوتوپ ^{10}B ، روی هم قرار نگیرد. جهت بررسی این موضوع از چشمه ^{137}Cs بعنوان پرتو گاما با انرژی نزدیک به انرژی پرتو گامای 480 keV و ^{241}Am گسیلنده آلفا (با و بدون فیلتر) استفاده شده است (اینکار با استفاده از آشکارساز سوسوزن پلاستیک انجام شده است). نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که از شکل مشاهده می‌شود، با قرار گرفتن فیلتر در مقابل چشمه ^{241}Am ، طیف انرژی ذرات آلفا (با انرژی $4/6574 \text{ MeV}$) قبل از طیف انرژی گامای (480 keV) گسیلی از واکنش نوترون حرارتی با ^{10}B قرار می‌گیرد این نتیجه‌گیری نشاندهنده این است که طیف انرژی ذرات آلفای عبوری بعد از ۴ فیلتر (انرژی ذرات آلفای عبوری از ۴ فیلتر نزدیک به انرژی ذرات آلفای گسیلی از ^{10}B خواهد بود) نیز قطعاً قبل از طیف انرژی گاما قرار می‌گیرد بنابراین طیف انرژی پرتو گاما (لبه کامپتون) و ذرات آلفای گسیلی از واکنش نوترون حرارتی با ایزوتوپ ^{10}B ، روی هم قرار نمی‌گیرد و جداکردن این دو بخش از طیف انرژی پرتو گاما و ذرات آلفا امکان پذیر می‌باشد.



شکل (۴). طیف انرژی گامای چشمه ^{137}Cs و ذرات آلفای عبوری از فیلترها با ضخامت‌های مختلف با استفاده از آشکارساز سوسوزن پلاستیک دیسکی شکل



بحث و نتیجه گیری :

نتایج نشان می‌دهد که با قرار گرفتن ۴ فیلتر که ضخامت کل آنها برابر با $24 \mu\text{m}$ است، می‌توان ذرات آلفا با انرژی $1/6883 \text{MeV}$ تولید کرد که نزدیک به انرژی آلفای گسیل شده از واکنش نوترون حرارتی با ماده جاذب ^{10}B است. همچنین با افزایش بهره سیستم آشکارسازی می‌توان قله انرژی ذره آلفا با انرژی $1/470 \text{MeV}$ را نیز مشاهده کرده و ثبت نمود. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش‌های انجام شده، آشکارساز سوسوزن پلاستیک جهت اندازه‌گیری ذرات آلفای گسیل شده از واکنش نوترون حرارتی با ماده جاذب ^{10}B مناسب خواهد بود. عبارتی با قرار دادن لایه نازکی از ماده جاذب بور روی سطح سوسوزن و برخورد نوترون‌های حرارتی با آن می‌توان شار نوترون حرارتی را اندازه‌گیری کرد. برای این منظور تعیین منحنی کالیبراسیون آشکارساز ضروری است. به دلیل عدم دسترسی به چشمه‌های آلفا در محدوده انرژی مورد نظر برای انجام کالیبراسیون، با بکارگیری فیلترهایی با ضخامت مختلف، ذرات آلفا تولید شد و برای کالیبراسیون آشکارساز سوسوزن مورد استفاده قرار گرفت.

مراجع :

- [1] Tsoufanidis, *Measurement and Detection of Radiation*. CRC Press, 2010.
- [2] G. F. Knoll, "Radiation Detectibn and Measurement Third Edition." 2010.
- [3] H. E. Jackson and G. E. Thomas, "Boron-loaded neutron detector with very low γ -ray sensitivity," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 36, no. 4, pp. 419–425, 1965.
- [4] L. Swiderski *et al.*, "Further study of boron-10 loaded liquid scintillators for detection of fast and thermal neutrons," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 57, no. 1 PART 2, pp. 375–380, 2010.
- [5] M. Roth, E. Mojaev, O. Khakhan, A. Fleider, E. Dul'Kin, and M. Schieber, "Composite boron nitride neutron detectors," *J. Cryst. Growth*, vol. 401, pp. 791–794, 2014.
- [6] J. Hellström and S. Beshai, "A detector for (n, γ) cross section measurements," *Nucl. Instruments Methods*, vol. 101, no. 2, pp. 267–273, 1972.