

پاسخ آشکار ساز Moxon-Rae بر پایه ی یک سنتیلاتور پلاستیک ضخیم

صالح اشرفی* - سمیه علایی - اختای جهانبخش - داوود علیزاده

دانشگاه تبریز، دانشکده فیزیک

چکیده

آشکارسازهای *Moxon-Rae (MR)* در فیزیک هسته ای برای اندازه گیری سطح مقطع جذب تابش زای نوترونها مورد استفاده واقع می شوند. در این مقاله امکان بکارگیری یک آشکار ساز سوسوزن پلاستیک با ضخامت 8 mm همراه با یک ورقه مبدل گاما به الکترون را به عنوان آشکار ساز *MR* بررسی نموده ایم. از مبدل های مختلف نظیر گرافیت، آلومینیم و سرب استفاده نموده و ضخامت مناسب آنها را تعیین کرده ایم. با استفاده از چشمه گامای ^{137}Cs (662 keV) و ورقه های آلومینیمی با ضخامت های مختلف طیف فوتونهای گاما و الکترونهای ثانویه را به صورت تجربی اندازه گیری نموده ایم. با بهره گیری از کد شبیه سازی *MCNP4C* رابطه راندمان آشکارساز *MR* را با انرژی فوتونها تحقیق نموده ایم. نتایج اندازه گیریها و محاسبات مونت کارلو نشان می دهد که در محدوده انرژیهای بالا ($E_{\gamma} \geq 2 \text{ MeV}$) پاسخ آشکارساز خطی بوده و می توان از سنتیلاتورهای پلاستیک ضخیم برای ساخت آشکارساز *MR* استفاده نمود.

کلید واژه : سنتیلاتور پلاستیک، واکنش (n, γ) ، شبیه سازی مونت کارلو، آشکارساز *Moxon-Rae*

مقدمه

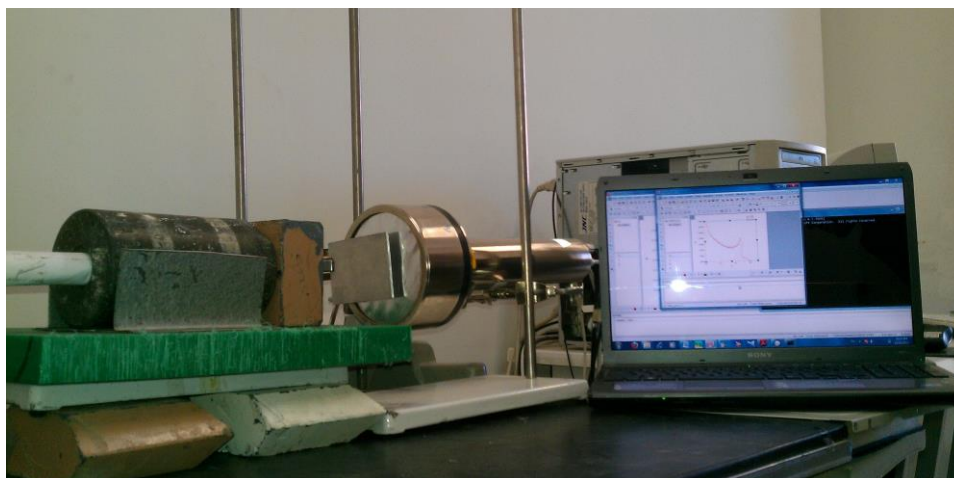
ایده اصلی در آشکارسازهای *Moxon-Rae (MR)* آشکار نمودن اشعه گاما با استفاده از یک آشکارساز نازک الکترونی از جنس سنتیلاتور پلاستیک است [۱]. کاربرد این آشکارسازها در اندازه گیری سطح مقطع جذب تابش زای نوترون $\sigma(n, \gamma)$ می باشد. اشعه گاما در بیرون سنتیلاتور در موادی با عدد اتمی پایین (موسوم به مبدل) اندرکنش (γ, e) انجام و تولید الکترونهای ثانویه می کند. این الکترونها سپس در آشکارساز الکترونی آشکار می شوند. هر چند راندمان آشکارسازی گاما از این طریق پایین است (5-4% $\sim \eta$) ولی نسبت سیگنال به زمینه و قدرت تفکیک زمانی خوبی (2-3 nsec) بدست می آید. برای اینکه اندازه گیری سطح مقطع جذب مستقل از آبشار واپاشی گاما باشد باید راندمان آشکارسازی فوتونهای گاما با انرژی اشعه گامای فرودی به صورت خطی تغییر می کند [۲]. این رابطه خطی برای آشکارساز پلاستیک نازک با ضخامت 1 mm و مبدلهای گرافیتی و آلومینومی با ضخامت 2-3 cm به صورت نظری محاسبه و به صورت تجربی مشاهده شده است [۳].

با توجه به ضخامتهای مختلف سنتیلاتورهای موجود در آزمایشگاهها، توسعه ایده آشکارساز MR به سنتیلاتورهای ضخیم تر مد نظر محققان واقع شده است. به عنوان مثال کاشوکیف [۴] با بکارگیری سنتیلاتور GaF2 به ضخامت 9 mm و مبدل 2-mm-Bi و اندازه گیری طیف اشعه گاما سطح مقطع واکنش جذب نوترونها را اندازه گیری نموده است. نتایج کار او نشان میدهد که رابطه راندمان آشکارساز با انرژی گاما تا 4 MeV غیر خطی ولی در انرژیهای بالاتر خطی می باشد.

در این تحقیق، امکان ساخت این نوع آشکارساز با سنتیلاتور پلاستک ضخیم (8 mm) بررسی شده است. پاسخ آشکارساز به ازای ضخامت های مختلف مبدل آلومینیومی و انرژیهای مختلف گاما با استفاده از کد MCNP شبیه سازی و نتایج را با طیف های تجربی مقایسه نموده ایم.

روش کار

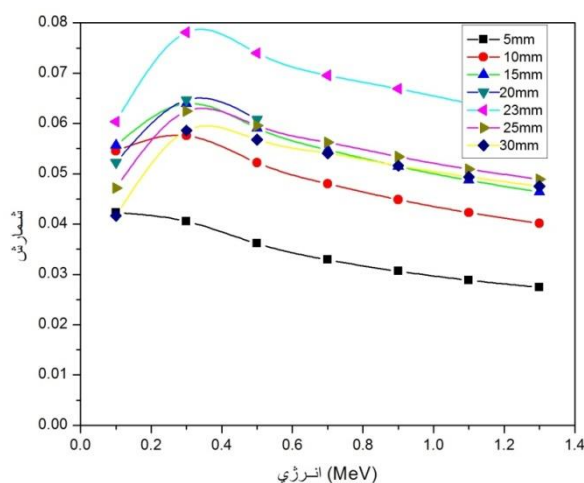
سیستم آشکارسازی شامل یک سوسوزن پلاستیک به ابعاد $128 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ می باشد که به منظور ثبت پرتوهای عبوری از مبدل بکار رفته است. در این کار از یک چشمه ^{137}Cs با اکتیویته ۶ mCi استفاده شد. پرتوهای منبع رادیواکتیو از داخل یک موازی ساز سربی به شعاع داخلی 2.5 mm عبور داده شد. ابعاد بیرونی این موازی ساز سربی $8\text{cm} \times 8\text{cm} \times 8\text{cm}$ بود. شکل (۱) چیدمان تجربی آزمایش را نشان می دهد. در مقابل آشکارساز مبدل مستطیل شکلی از جنس آلومینیم با ضخامت های مختلف قرار داده شد و در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه تعداد کل شمارش ها را به دست آوردیم. سپس با استفاده از کد MCNP4C اندرکنشهای فوتونهای گاما را با موازی ساز، مبدل و آشکارساز شبیه سازی کرده و برای مبدل آلومینیومی در ضخامت های مختلف و انرژی های متفاوت طیف انرژی فوتونها و الکترونهای ثانویه را بدست آوردیم. پس از حصول یک تطابق قابل قبول بین طیف های تجربی و شبیه سازی صحت و دقت فرایند شبیه سازی تأیید می شود. در گام بعدی، اطلاعاتی مانند راندمان آشکار سازی گاما، رابطه آن با انرژی فوتونهای گاما و میزان تولید الکترونهای ثانویه در مبدل را از طریق شبیه سازی بدست آوردیم.



شکل (۱): نمایش چیدمان آزمایش

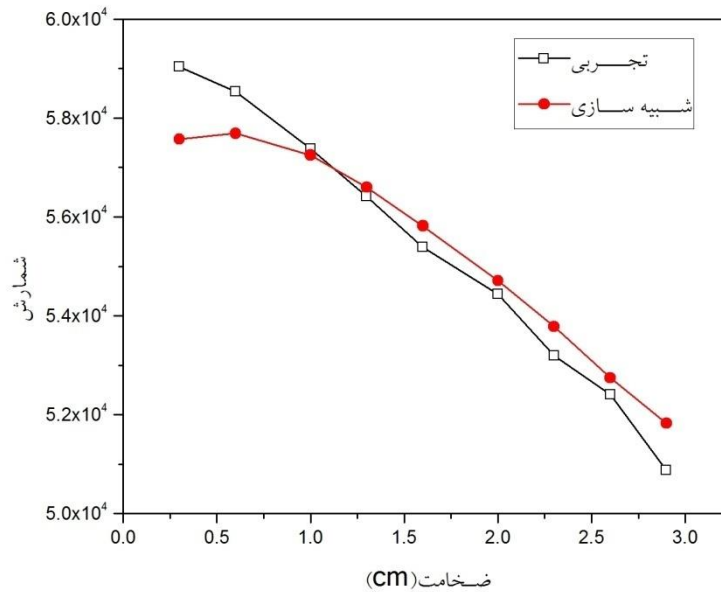
نتایج

برای اطمینان بیشتر از انجام صحیح محاسبات، شبیه‌سازی برای انرژی‌های مختلف و با ضخامت‌های گوناگون مبدل، برای چیدمانی که توسط مالیک و همکارانش [۳] بکارگرفته شده بود (آشکارساز پلاستیکی با ضخامت ۱ میلی‌متر و ماده مبدل آلومینیومی) تکرار شد و نتایج بدست آمده با نتایجی که آنها بطور تحلیلی محاسبه کرده بودند مقایسه گردید (شکل ۲). این مقایسه نشان می‌دهد که برای انرژی 662 keV تعداد کل شمارش‌ها در ضخامت ۲۳ میلی‌متر بیشترین مقدار خود را دارد و در واقع این ضخامت برای مبدل آلومینیومی در انرژی فوق مقدار بهینه است و برای انرژی‌های بالاتر از 4 MeV راندمان آشکارسازی فوتونهای با انرژی آنها به صورت خطی تغییر می‌کند. این نتایج کاملاً در تطابق با نتایج مالیک می‌باشد و نشان دهنده انجام صحیح شبیه‌سازی می‌باشد.



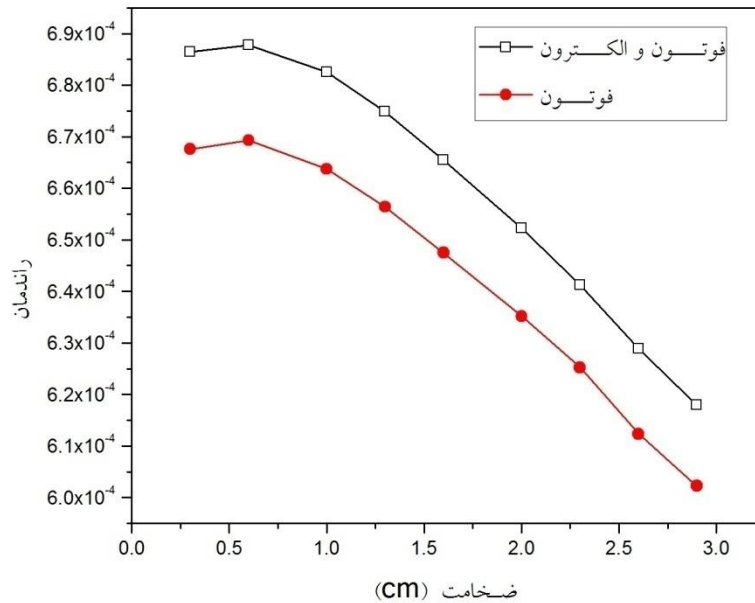
شکل (۲): تعداد کل شمارش‌ها در انرژی‌ها برای یک سنتیلاتور 1 mm و ضخامت‌های مختلف مبدل آلومینیومی

شکل (۳) مقایسه‌ای بین نتایج تجربی و نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی را برای انرژی 662 keV و ضخامت‌های مختلف مبدل آلومینیومی نشان می‌دهد.



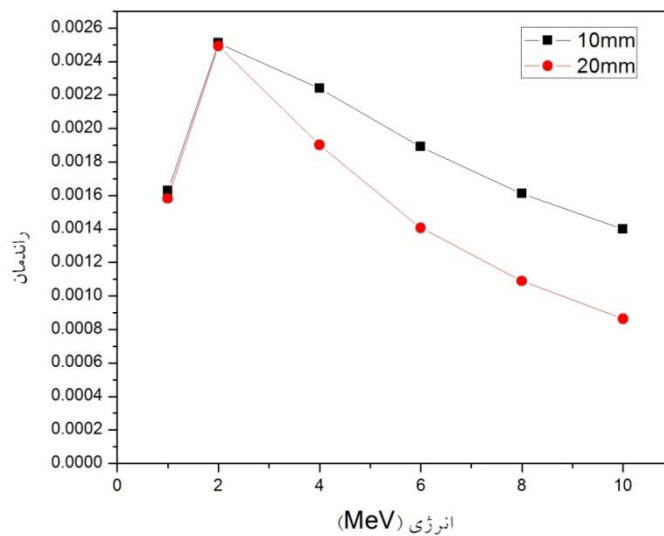
شکل ۳: تغییرات تعداد کل شمارش‌ها برحسب ضخامت مختلف مبدل آلومینیومی

همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت مبدل به علت جذب بیشتر فوتونها در مبدل، تعداد کمتری از آنها به آشکارساز رسیده و جذب می‌شوند. با توجه به ضخامت بیشتر آشکارساز (8 mm) در مقایسه با آشکارساز مالیک انتظار می‌رود تعداد فوتونهای بیشتری در سنتیلاتور اندرکنش نمایند. این امر موجب افزایش راندمان آشکارسازی گاما (μ) می‌شود و اگر پاسخ آشکارساز همچنان خطی باقی بماند مشکلی ایجاد نخواهد کرد. رفتار غیر خطی زمانی ظاهر می‌شود که آشکار سازی الکترونها تحت الشعاع فوتونها واقع شود. برای تعیین سهم الکترونها گسیل شده از ماده مبدل در طیف ثبت شده، در یکی از شبیه‌سازی‌های انجام گرفته مانع رسیدن الکترونها خارج شده از آلومینیوم به آشکارساز شدیم (با صفر قرار دادن ضریب اهمیت الکترون در محیط بین مبدل و آشکارساز). همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است تعداد تابش‌های آشکار شده کاهش قابل توجهی از خود نشان می‌دهد. نسبت الکترون به فوتونهای ثبت شده با افزایش ضخامت مبدل افزایش می‌یابد.



شکل ۴: تغییرات راندمان برای ضخامتهای مختلف مبدل

برای بررسی مهمترین ویژگی آشکارساز Moxon-Rae (که خطی بودن راندمان آشکارساز بر حسب انرژی است) و اینکه آیا آشکارساز پلاستیک مورد استفاده ما دارای این ویژگی می‌باشد یا نه، شبیه‌سازی را برای انرژی‌های مختلف و ضخامت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر انجام دادیم. مقایسه نتایج در شکل (۵) نشان می‌دهد که برای ضخامت‌های کم پاسخ آشکارساز در انرژی‌های بالاتر از ۲ MeV خطی می‌باشد.



شکل ۵: نحوه تغییرات راندمان آشکارساز بر حسب انرژی در آشکارسازهای ضخیم

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق ما امکان استفاده از آشکار ساز سوسوزن پلاستیک با ضخامت ۸mm را به عنوان آشکار ساز Moxon-Rae بررسی نمودیم. شبیه‌سازی‌های انجام گرفته تطابق خوبی با نتایج تجربی و نتایج تحلیلی انجام شده نشان داد. نتایج شبیه‌سازی شده نشان می‌داد که در انرژی‌های بالای 2 MeV این آشکارساز رفتار خطی از خود نشان می‌دهد لذا می‌توان از آن به عنوان آشکارساز Moxon-Rae استفاده نمود.

مراجع

- [۱] M. C. Moxon , E. R. Rae. A gamma-ray detector for neutron capture cross-section measurements, Nuclear Instruments and Methods (1963) 445-455.
- [۲] W. P. Poenitz, Review of measurement techniques for the neutron radiative-capture process, Applied Physics Division, Argonne National Laboratory, USA 1981.
- [۳] S.S. Malik, An idealized theory of Gamma-Ray detection mechanism of a simple Moxon-Rae-type detector, Nuclear Instruments and Methods, 1975, 45-52.
- [۴] N. T. Kashukeev, Yu. P. Popov, and F. L. Shapiro, J. Nucl. Energy A/B 14, 76 (1961).
- [۵] J.F. Briesmeister, MCNP-A general Monte Carlo N-particle Transport Code; Version 4C, Los Alamos National laboratory, Los Alamos, 2000 (LA-13709-M).