



بررسی تجربی استفاده از پس پراکندگی گامادر ضخامت سنجی

آیدا، عزیزیان*^۱؛ حسین، آفریده^۱؛ اسمعیل، بیات^۲

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک

دانشگاه بیرجند، دانشکده علوم

چکیده

این تحقیق مزیت استفاده از گاماهاى بازگشتی از مواد سبک مانند شیشه، پلی اتیلن و گرافیت را در ضخامت سنجی مورد بررسی قرار می‌دهد. در این مقاله، روشی برای اندازه‌گیری و تخمین ضخامت مواد مختلف به دو صورت تجربی و شبیه‌سازی ارائه شده است. در زاویه پراکندگی ۱۶۰ درجه و زمان شمارش یکسان در تمام آزمایش‌ها، با افزایش ضخامت ماده هدف (پراکنده ساز) تا ۱۰ سانتیمتر، پرتوهای بازگشتی با تقریب خوب به صورت خطی افزایش می‌یابند. این اندازه‌گیری که با پرتوهای گامای یک چشمه نقطه‌ای ^{137}Cs با انرژی 662keV ، واقع در یک محفظه سربی (موازی سازی به قطر ۱cm) و یک آشکارساز NaI(Tl) با ابعاد 11×11 ، انجام شد، با استفاده از کد $\text{MCNXPX } 2/6$ نیز شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش تجربی و شبیه‌سازی تطابق خوبی با یکدیگر داشتند.

مقدمه

با توجه به نقش اساسی پرتوهای پراکنده در موارد مختلف صنعتی، پزشکی، امنیتی و... اهمیت به کارگیری سیستم‌های بر مبنای این پدیده فیزیکی، کاملاً روشن است. همچنین با در نظر داشتن این موضوع که در برخی موارد امکان دسترسی به سمت دیگر جسم وجود ندارد، لذا بررسی مشخصات ماده مورد نظر بر اساس پرتو عبوری قابل حصول نبوده و ناگزیر به استفاده از روش پس پراکندگی هستیم. برای مثال در شناسایی مین‌های مدفون در زیر خاک از این روش استفاده می‌شود [۱].

برهم کنش‌های متداول فوتون با ماده عبارتند از: اثر فوتوالکتریک، پراکندگی کامپتون و تولید زوج. برهم‌کنش غالب تابش پرتوهای گاما به مواد با عدد اتمی کم‌تر از ۶۰ در محدوده انرژی $\text{keV } (1000-300)$ ، فرایند پراکندگی کامپتون است که با توجه به عدد اتمی ماده و زاویه پراکندگی مقدار متفاوتی دارد. بررسی‌ها نشان داده‌اند میزان پراکندگی بازگشتی از مواد با عدد اتمی پایین‌تر نسبت به مواد با Z بالا شدیدتر است [۲]. از این ویژگی می‌توان در تفکیک مواد مختلف از هم استفاده نمود، بدین صورت که میزان شمارش گامای پراکنده شده از مواد با عدد اتمی پایین، مانند مواد منفجره و مخدر، نسبت به مواد با Z بالاتر، مانند فلزات، بیش‌تر است. از این خصوصیت پرتوهای گاما هم اکنون در بسیاری از نقاط مختلف جهان از برای شناسایی مواد منفجره و مخدر پنهان در داخل



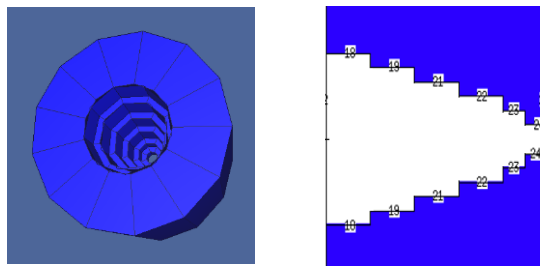
چمدان، خودروها، کانتینرهای باری و حتی بازرسی مسافران در گذرگاه‌های مرزی و فرودگاه‌ها استفاده می‌شود[۲].

با افزایش ضخامت ماده پراکنده‌ساز شمار پرتوهای بازگشتی به سمت چشمه نیز افزایش می‌یابد. با در نظر داشتن این موضوع می‌توان ضخامت یک ماده بر روی ماده دیگر را نیز تعیین نمود[۳]. با توجه به محاسبات انجام شده بر اساس رابطه معروف کامپتون، پراکندگی فوتون‌ها با انرژی اولیه متفاوت در زوایای بزرگ‌تر از ۱۰۰ درجه رفتاری کاملاً مشابه دارند. در حقیقت بررسی پراکندگی در زوایای بزرگ تا حدی مستقل از انتخاب نوع چشمه می‌باشد. با استفاده از این نتیجه می‌توان هر نوع چشمه دلخواه ساطع کننده پرتو گاما را برای بررسی تاثیر ضخامت روی پراکندگی به کار برد؛ هرچند که با افزایش انرژی گامای چشمه، طبق رابطه کلین نشینا[۴ و ۵ و ۷]، احتمال پس پراکندگی کاهش می‌یابد. با وجود اینکه ناحیه انرژی گامای پس پراکنده برای طیف نگاری مناسب نمی‌باشد، اما با توجه به رفتار یکسان چشمه‌ها، از شمارش ذرات در این ناحیه می‌توان برای ضخامت سنجی استفاده نمود[۳]. در این تحقیق این امر به صورت محاسباتی و تجربی جهت مواد با عدد اتمی پایین، پلی اتیلن و گرافیت، بررسی شده است.

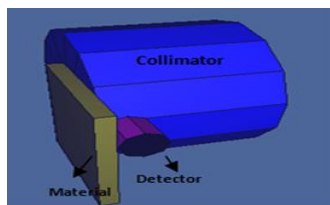
مواد روش‌ها

آماده سازی هندسه جهت اندازه گیری تجربی سیستم اندازه گیری پس پراکندگی از چشمه، موازی ساز، آشکارساز گاما و الکترونیک مربوطه تشکیل می‌شود. با توجه به امکانات موجود در آزمایشگاه، چشمه گامای ^{137}Cs با اکتیویته $0.5/\text{mCi}$ انتخاب گردید. با توجه به اکتیویته نسبتاً بالای این چشمه، لازم است که حفاظ مناسبی پیرامون چشمه قرار گیرد تا علاوه بر حفظ ایمنی کاربر، امکان تولید یک باریکه مناسب از پرتو گاما فراهم گردد. بدین منظور برای تبدیل چشمه نقطه‌ای به باریکه خطی، از موازی سازی از جنس سرب استفاده شد تا پرتوهای ساطع شده در جهت دلخواه هدایت شوند. موازی ساز طراحی شده، ساختاری تقریباً مخروطی شکل داشته به طوری که با حرکت پرتوهای گاما به سمت جلو، از قطر پرتو کاسته گردیده و در انتها باریکه خروجی با قطر ۱ سانتی‌متر حاصل شد. برای طراحی این موازی ساز، از کد MCNPX۲/۶ استفاده گردید. نکته حائز اهمیت در این طراحی، علاوه بر باریکه کاملاً موازی، ضخامت کافی موازی ساز است؛ طبق داده‌های کتابخانه MCNP مسافت آزاد میانگین فوتون‌های گاما با انرژی 662keV در ماده سرب، در حدود چند میلیمتر است، ضخامت 5cm از سرب برای متوقف نمودن فوتون‌ها و جلوگیری از خروج آن‌ها از موازی ساز، می‌تواند کافی باشد. به گونه‌ای که ذرات تنها از روزنه خروجی موازی ساز عبور می‌کنند. شکل ۱ طرح شماتیک موازی ساز طراحی شده با استفاده از کد MCNP است. برای ثبت طیف‌های بازگشتی، از آشکارسازهای مختلفی می‌توان استفاده نمود. اما آشکارساز مناسب باید به راحتی قابل حمل بوده و بازدهی بالایی برای فوتون‌های گاما داشته باشد. از آن‌جا که

مطابق با هندسه شکل ۲، پراکندگی در زوایای حدود ۱۶۰ درجه مورد توجه است و در این زوایا طبق رابطه کامپتون انرژی فوتون‌های بازگشتی اندک است، لذا آشکارساز مورد استفاده بلور NaI(Tl) با ابعاد کوچک 11×11 انتخاب شد تا زاویه فضایی آشکارساز برای شمارش فوتون‌های بازگشتی کوچک شود. به منظور بررسی اثر ضخامت ماده پراکنده ساز روی تعداد رویدادهای پراکندگی بازگشتی، طیف پراکندگی فوتون‌های گاما با انرژی 662 keV از مواد مختلف (گرافیت، شیشه و پلی اتیلن) در زمان شمارش یکسان ۱۲۰ ثانیه ثبت و مورد بررسی قرار گرفت. بررسی اثر ضخامت، به صورت تئوری نیز از روش شبیه‌سازی با کد MCNP، انجام شد. شکل ۲ قرارگیری چشمه، موازی‌ساز سربی، آشکارساز و ماده پراکنده ساز را نشان می‌دهد که با استفاده از کد MCNP شبیه‌سازی گردیده است.



شکل ۱. نمای جانبی و فوقانی موازی ساز طراحی شده با استفاده از کد MCNP



شکل ۲. موقعیت چشمه، موازی‌ساز، آشکارساز و ماده پراکنده ساز در میان دیواره‌های سربی

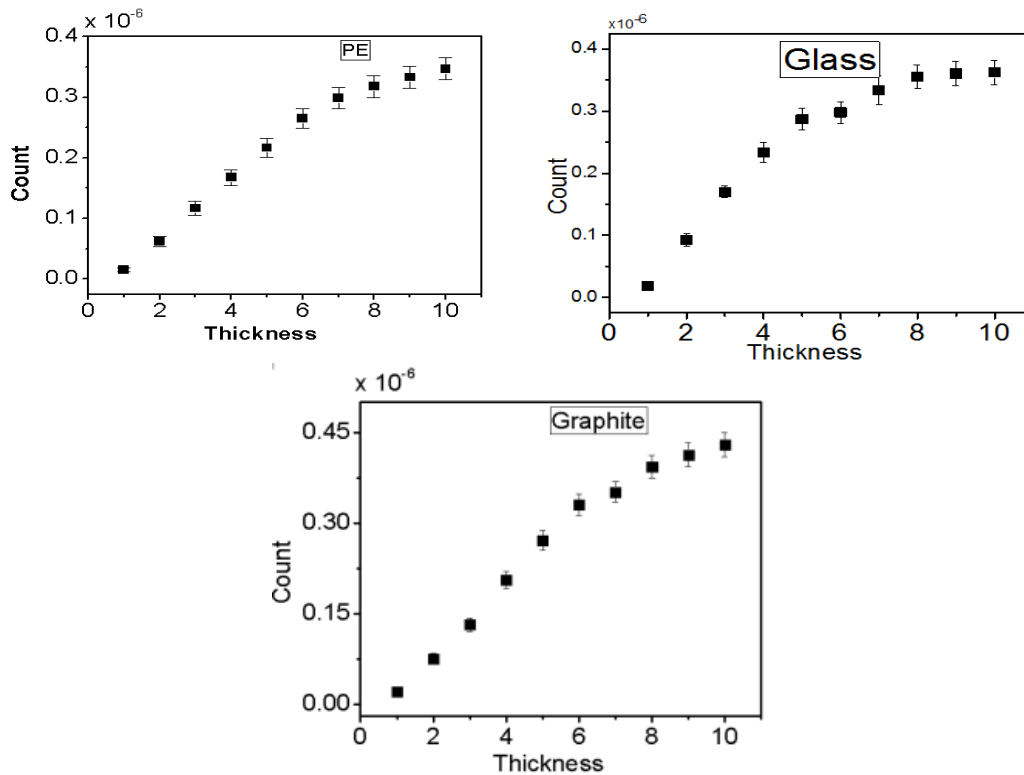
در چینی شبیه‌سازی شده در کد MCNP، چشمه ^{137}Cs با مشخصات ذکر شده در بالا، داخل موازی‌ساز مذکور قرار گرفته و بدین طریق گاما خارج شده از موازی‌ساز، با کمترین واگرایی و بیشترین انرژی، به صورت باریکه‌ای موازی با قطر ۱ cm به سوی نمونه مورد نظر گسیل و با آن برهم کنش کرده و پس از پراکنده شدن در زاویه حدود ۱۶۰ درجه به آشکارساز می‌رسد. قرارگیری نمونه‌ها در کد به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که کاملاً به موازی‌ساز چسبیده و انتهای نمونه‌ها سطح حساس آشکارساز را بپوشاند.

جدول ۱: ابعاد و چگالی نمونه‌های بررسی شده

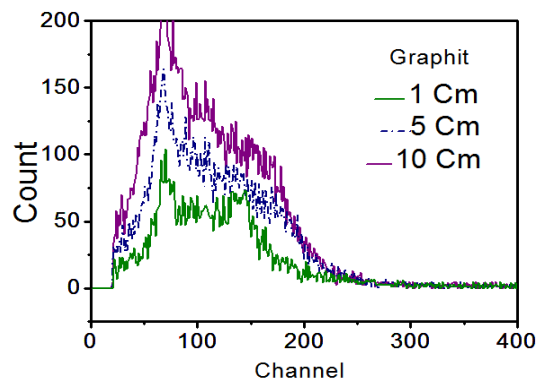
نمونه مورد مطالعه	ابعاد cm^3	چگالی gr/cm^3
گرافیت	$1 \times 17 \times 20$	۱/۵۵
شیشه	$0.5 \times 10 \times 10$	۲/۹
پلی اتیلن	$1 \times 20 \times 20$	۰/۵۹

نتایج

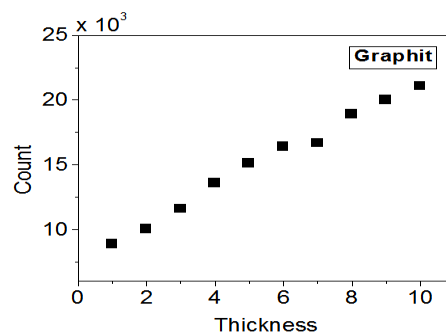
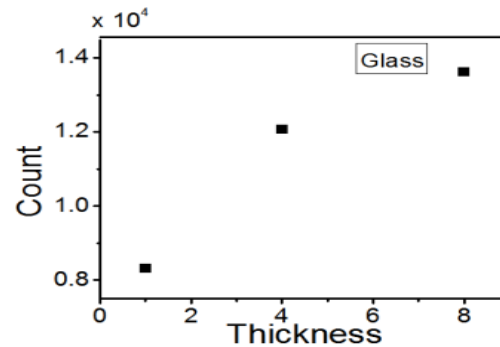
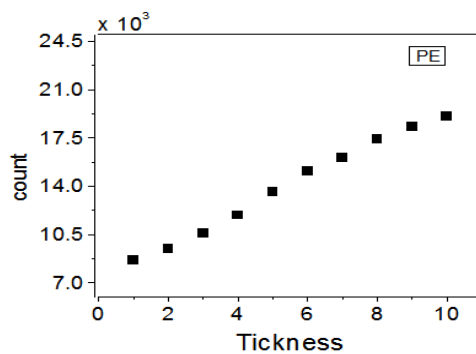
تغییرات میزان پراکندگی در ضخامت‌های مختلف (1cm ، 2cm ، 3cm ، 5cm ، 8cm و 10cm) در شکل ۳ برای هر سه ماده شیشه، پلی اتیلن و گرافیت، با استفاده از کد MCNP دیده می‌شود. شکل ۴ طیف پرتوهای پراکنده شده از سه ضخامت مختلف ۱، ۵ و ۱۰ سانتی متر ماده گرافیت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، با افزایش ضخامت ماده پراکنده ساز، میزان پراکندگی افزایش می‌یابد که این امر کاملاً مطابق با انتظار است. برای مقایسه دقیق‌تر میان اثر ضخامت مواد روی مقدار پراکندگی در مواد مختلف، تغییرات شمارش بر حسب ضخامت لایه‌ها، برای سه ماده مذکور به صورت تجربی برای ضخامت‌های 1cm تا 10cm برای پلی اتیلن و گرافیت و ضخامت 8cm ، ۴ و ۱ از شیشه نیز انجام و در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳. روند افزایش میزان شمارش با افزایش ضخامت در سه ماده شیشه، پلی اتیلن و گرافیت با استفاده از کد MCNP.



شکل ۴. طیف پراکنده شده از ماده گرافیت در ضخامت‌های ۱، ۵ و ۱۰ به صورت تجربی با استفاده از دستگاه MCA



شکل ۵. بررسی افزایش تعداد فوتون‌های پس پراکنده شده با افزایش ضخامت ماده پراکنده به روش تجربی

نتیجه گیری:

نمودارهای ۳ و ۵ نشان می‌دهند که داده‌های حاصل از اندازه‌گیری تجربی تطابق خوبی با نتایج شبیه‌سازی دارد. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، با افزایش ضخامت ماده پراکنده، میزان پراکندگی افزایش می‌یابد که این امر کاملاً بدیهی و مطابق با انتظار است. با افزایش ضخامت ماده میزان اتم‌های برهمکنش‌کننده با فوتون فرودی افزایش یافته و در نتیجه آن تعداد فوتون‌هایی که از ماده پراکنده می‌شوند نیز افزایش می‌یابد.



همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، مقدار پراکندگی گاما با افزایش ضخامت، در هر سه ماده افزایش می‌یابد. نسبت این افزایش در ضخامت‌های اندک در مقایسه با قسمت‌های ضخیم‌تر ماده، شدیدتر است. به عبارتی میزان پراکندگی با افزایش ضخامت، همواره زیاد می‌گردد که این افزایش در ضخامت‌های اندک به صورت خطی بوده ولی در ضخامت‌های بیش‌تر قدری از حالت خطی خارج می‌شود. زیرا فوتون‌های بازگشتی با توجه به رابطه معروف کامپتون و زاویه بزرگ پراکندگی (در اینجا حدود ۱۶۰ درجه)، انرژی کمی برای عبور و بازگشت از ماده داشته و بسیاری از آن‌ها در داخل ماده انرژی خود را از دست داده و جذب می‌شوند. همچنین با نفوذ بیشتر به داخل ماده احتمال برهمکنش‌های ثانویه نیز برای فوتون وجود دارد. در واقع این احتمال نیز وجود دارد که فوتون در هنگام برگشت به سمت آشکارساز، دچار پراکندگی‌های ثانویه شده و انرژی لازم را برای عبور از ماده نداشته باشند [۸و۶]. در ادامه این تحقیق می‌توان به بررسی دقیق تضعیف پرتوهای بازگشتی در داخل ماده و تعیین محدوده پاسخ خطی سیستم برای ضخامت مواد مختلف پرداخت.

مراجع

- [۱] Alan Jacobs, Edward Dugan, Stephanie Brygoo, Dan Ekdahl, Laurent Houssay, Zhong Su, "Lateral migration radiography: A new x-ray backscatter imaging technique", Penetrating Radiation Systems and Applications IV, Proceedings of SPIE Vol. ۴۷۸۶, ۲۰۰۲
- [۲] Dan-Cristian Dinca, Jeffrey R. Schuberta, "X-ray Backscatter Imaging", SPIE Digital Library, ۲۰۰۸
- [۳] Bruce c. towe and alan m. jacobs, "x-ray backscatter imaging", iee transactions on biomedical engineering, vol. bme-۲۸, no. ۹, september ۱۹۸۱
- [۴] Manpreetsingh, Gurvinderjitsingh, Effect of detector Collimator and sample thickness on ۰.۶۶۲ MeV multiply Compton-Scattered gamma rays. Applied radiation and isotopes ۶۴ (۲۰۰۶) ۳۷۳-۳۷۸
- [۵] Gurvinderjitsingh, Manpreetsingh, Bhajan Singh, Experimental investigation of multiply Scattering of ۶۶۲keV gamma rays in Zinc at ۹۰°, radiation physics and chemistry ۷۶ (۲۰۰۷) ۷۵۰-۷۵۸
- [۶] O.D. Goncalves, S.C. Cardoso, H. Schechter, j. Eichler. "Multiply scattering of ۵۹.۵۴ keV rays by large water samples: measurement and simulation". Radiation physics and chemistry ۶۱ (۲۰۰۴) ۹۷۷-۹۷۸
- [۷] S, Mohammadi, "Compton scattering as a probe for materials investigation"; Physics Department, Payam Noor University, Mashad ۹۱۷۳۵, IRAN Received ۴ November ۲۰۰۸, in final from ۶ March ۲۰۰۹
- [۸] کبیری، نسیمه سادات و توکلی عنبران، حسین، «تحقیق محاسباتی پراکندگی‌های چندگانه فوتون‌های ۶۶۲keV گامای فرودی بر ماده نمونه مسی» کنفرانس فیزیک ۹۱- یزد.