

محاسبه انباشت انرژی پرتوگاما در سوسوزن پلاستیکی NE102 با استفاده از کدهای مونت- کارلوی MCNP4C و FLUKA و تأثیر آن بر شبیه سازی تابع پاسخ آشکارساز

تاجیک، مجتبی^(۱)، قلعه، نیما^(۲) - آفریده، حسین^(۳) - اطاعتی، غلامرضا^(۳)

^(۱) سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشگاه علوم هسته ای

^(۲) دانشگاه دامغان، دانشکده فیزیک

^(۳) دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده مهندسی هسته ای و فیزیک

چکیده

در این مقاله تابع پاسخ آشکارساز NE102 به تابش گاما با استفاده از کدهای مونت کارلوی MCNP4C و FLUKA شبیه سازی شده و با توجه به ناکارآمدی کدهای مزبور در ترابرد فوتونهای مرئی، برای داشتن یک تابع پاسخ دقیق از آشکارساز، کد تک منظوره ترابرد نور PHOTRACK را با کدهای MCNP4C و FLUKA تلفیق نموده ایم. مقایسه نتایج شبیه سازی دو کد هیبریدی FLUKA+PHOTRACK و MCNP4C+PHOTRACK با نتایج تجربی همخوانی قابل قبولی نشان می دهد.

۱. مقدمه

سوسوزنهای آلی به علت دارا بودن هیدروژن و عدداتمی میانگین کم، برای آشکارسازی نوترون کاملاً مناسبند. در مواردی که امکان ساخت آشکارساز در اندازه بزرگ و اشکال مختلف و یا سریع بودن آشکارساز (با ثابت زمانی کمتر از ۵۰ نانوثانیه) مورد نیاز هستند، سوسوزنهای آلی بهترین گزینه به حساب می آیند. در این آشکارسازها، اتلاف نور ناشی از ابعاد بزرگ آشکارساز، پدیده قابل چشم پوشی نیست. بنابراین ترابرد نور به منظور شبیه سازی دقیق پاسخ آشکارساز و همچنین بهینه سازی هندسه، مواد و پیکربندی ضروری به نظر می رسد.

در این مقاله، شبیه سازی تابع پاسخ سوسوزن پلاستیکی به تابش گاما در سه بخش مجزا انجام شده است: (۱) محاسبه انباشت انرژی تابش گاما در سوسوزن پلاستیکی با استفاده از کدهای MCNP4C و FLUKA (۲) شبیه سازی ترابرد نور با استفاده از کد PHOTRACK (۳) پیچش قدرت تفکیک گاوسی در طیف بدست آمده از دو مرحله قبل به گونه ای که طیف شبیه سازی قابل مقایسه با نتایج تجربی باشد.

۲. کدهای مونت کارلوی چند منظوره MCNP4C و FLUKA

۲-۱. MCNP4C

کدمونت کارلوی MCNP4C یک کدتوانمند چند منظوره انرژی پیوسته است که توانایی ترابرد سه ذره نوترون، گاما و الکترون را دارا بوده و اکثر اندرکنش‌های هر یک از این ذرات در حجم مورد نظر بررسی می‌گردد. پارامترهای تعیین شده توسط کاربر برای هر ذره پس از برهمکنش‌های متعدد، تعیین و به عنوان یک تاریخچه ذخیره می‌گردد و ذره آنقدر ردگیری می‌شود تا از سیستم خارج شده و یا آنقدر کم اهمیت شود که در نتیجه محاسبات بی‌تاثیر باشد و سپس ذره بعدی ردگیری می‌شود. همچنین اگر در یک برهمکنش، نوترون، فوتون و یا الکترون جدیدی تولید شود آن ذره نیز ردگیری می‌گردد. خروجی برنامه در واقع یک متوسط گیری روی سهم‌های تمام تاریخچه‌های ذرات در یک مسئله می‌باشد [2].

۲-۲. FLUKA

کدمونت کارلوی چند منظوره FLUKA، حاصل کار مشترک سازمان هوا و فضای آمریکا (NASA)، سازمان تحقیقات فیزیک هسته‌ای و ذرات اروپا و دانشگاه میلان می‌باشد. این کد برای شبیه‌سازی برهمکنش‌ها و ترابرد حدود ۶۰ نوع ذره متفاوت از هادرون‌ها و یونهای سنگین گرفته تا تابش‌های الکترومغناطیس با محدوده انرژی چند کیلو الکترون‌ولت تا چندین گیگا الکترون‌ولت و در همه اشکال فیزیکی ماده یعنی گاز، مایع و جامد است. این کد به زبان برنامه‌نویسی فرترن می‌باشد و در سیستم عامل لینوکس نصب می‌شود [3].

۲-۳. تعریف ورودی و محاسبه انباشت انرژی با استفاده از کدهای FLUKA و MCNP4C

ابتدا باید هندسه، مواد، موقعیت، انرژی چشمه و نوع آماره برای دو کد MCNP4C و FLUKA تعیین شود. مسئله مورد نظر، یک سوسوزن NE102 استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۲ اینچ است که در معرض چشمه گامای موازی شده سزیم ۱۳۷ قرار گرفته است. از آنجاییکه هدف از این مطالعه، مقایسه شبیه‌سازی تابع پاسخ تا حد امکان دقیق با استفاده از دو کد MCNP4C و FLUKA می‌باشد به نحوی که بهترین همخوانی را با نتایج تجربی داشته باشند، باید میزان انباشت انرژی در حجم سوسوزن بدقت محاسبه شود. برای این منظور، سلول سوسوزن به حجمکهای مکعبی (واکسل) با ابعاد قابل مقایسه با مسافت آزاد میانگین الکترونیهای تولید شده تقسیم می‌شود (در این بررسی مکعبهایی به ابعاد ۵/۰۸ mm در نظر گرفته شده است). برای اینکه امکان انجام شبیه‌سازی ترابرد نور پس از محاسبه انباشت انرژی وجود داشته باشد، نیاز به ثبت وقایع بصورت رویداد به رویداد هستیم. برای این منظور از آماره PTRAC کد MCNP4C و آماره EVENTBIN کد FLUKA استفاده شده است.

۲-۳-۱. محاسبه انباشت انرژی با استفاده از کد MCNP4C

در کد MCNP4C، برای ثبت وقایع بصورت رویداد به رویداد با استفاده از کارت PTRAC امکانپذیر است. کارت PTRAC، تمام تاریخچه ذره از قبیل نوع برهمکنش، جهت و موقعیت ذره را ثبت می‌کند. چون در خروجی PTRAC انرژی ذره در نقطه برهمکنش ثبت می‌شود، برای محاسبه انباشت انرژی ذره، یک برنامه فرترن نوشته شد

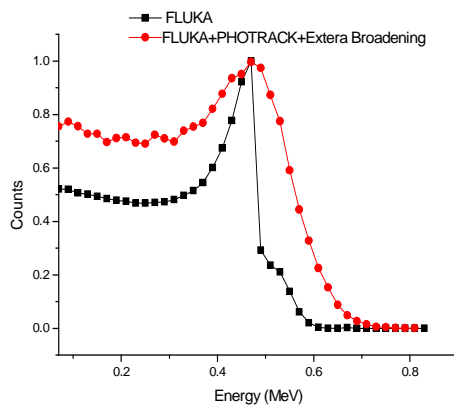
که فایل خروجی PTRAC را بعنوان ورودی گرفته و با توجه به نوع برهمکنش تابش گاما، انرژی گاماهاى اولیه، ثانویه و موقعیت برهمکنش در فایل خروجی PTRAC، انباشت انرژی در هر حجمک سلول را به ازای هر ذره محاسبه می کند.

۲-۳-۲. محاسبه انباشت انرژی با استفاده از کد FLUKA

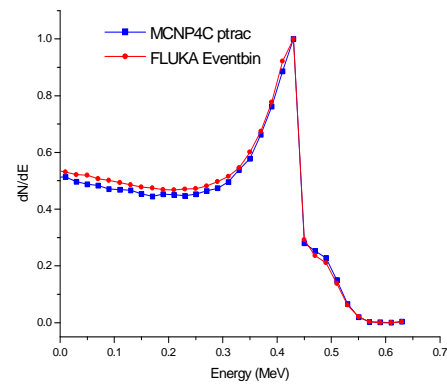
در این کد انرژی ذخیره شده در هر نقطه توسط کارت EVENTBIN محاسبه می شود و این قابلیت را دارد که یک خروجی مش بندی شده را بعد از هر رویداد و برای هر تاریخچه ذره ثبت کند. کارت EVENTBIN انباشت انرژی در هر حجمک سلول را به ازای هر ذره ثبت می کند.

۲-۳-۳. مقایسه انباشت انرژی حاصل از کدهای FLUKA و MCNP4C

خروجی های کارت EVENTBIN کد FLUKA و PTRAC کد MCNP4C برای آشکارساز سوسوزن پلاستیک استوانه ای NE۱۰۲ با اندازه "۲×۲" به صورت فراوانی انباشت انرژی برای ذرات تابشی شکل (۱-الف) نشان داده شده است. تعداد واکنش در نظر گرفته شده ۱۰۰۰ عدد می باشد. در این شکل توافق خوبی میان شبیه سازی حاصل از دوکد FLUKA و MCNP4C به ویژه در ناحیه لبه کامپتون مشاهده می شود.

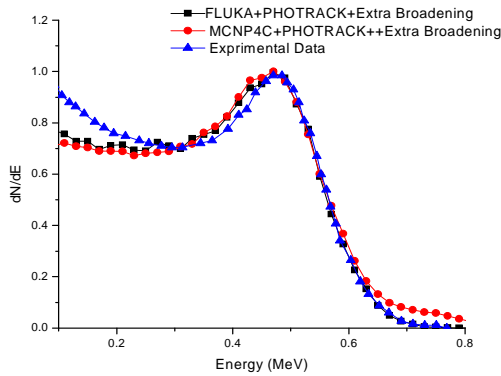


(ب)

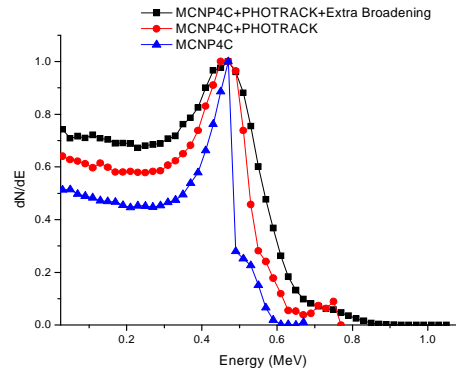


(الف)

شکل ۱. الف) مقایسه خروجی کارت EVENTBIN با خروجی کارت PTRAC کد MCNP4C (ب) تابع پاسخ شبیه سازی شده با استفاده از کد FLUKA و کد ترابرد نور PHOTRACK برای ^{137}Cs با آشکارساز سوسوزن پلاستیک NE۱۰۲ "۲×۲".



(ب)



(الف)

شکل ۲. (الف) تابع پاسخ شبیه سازی شده با استفاده از کد MCNP4C و کد ترابرد نور PHOTRACK (ب) مقایسه تابع پاسخ شبیه سازی شده با نتایج تجربی، برای آشکارساز سوسوزن NE102 که در معرض چشمه ^{137}Cs قرار گرفته است.

۲-۴. شبیه سازی ترابرد نور

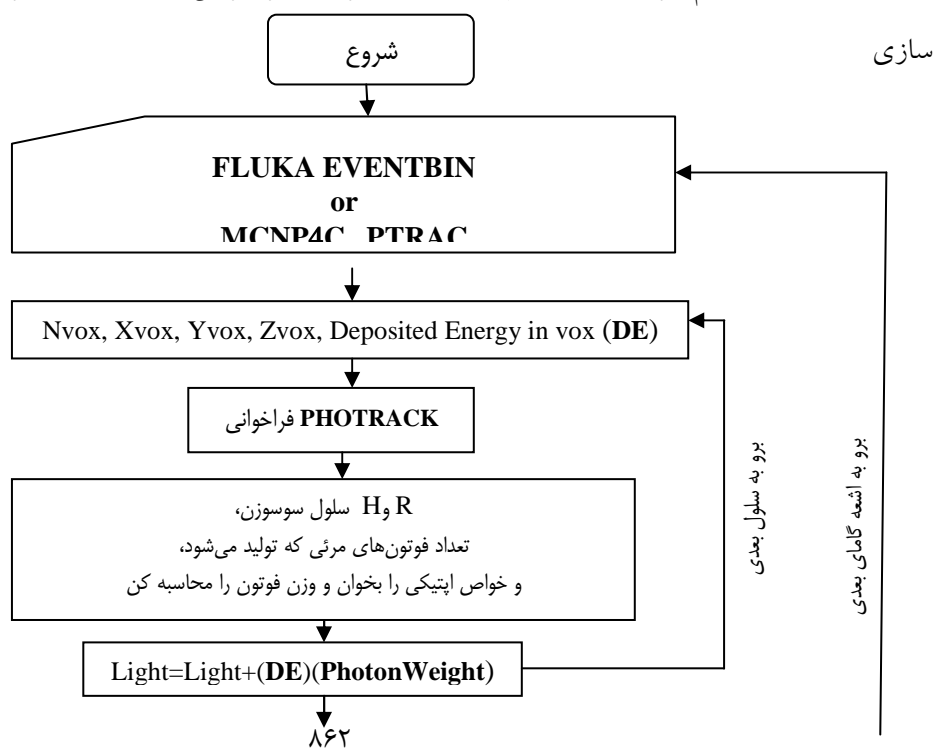
کد FLUKA به علت ناکارآمدی و پیچیدگیهای غیر ضروری در ترابرد فوتون مرئی و کد MCNP4C به علت عدم توانایی در ترابرد فوتون مرئی، تنها قابلیت شبیه سازی بخش انباشت انرژی پرتوهای گاما را دارند. برای این منظور از کد PHOTRACK برای شبیه سازی ترابرد نور و در نظر گرفتن ویژگیهای اپتیکی استفاده شد. مقادیر خروجی کارت EVENTBIN و برنامه پس پردازشی که روی خروجی کارت PTRAC انجام شد، در ضریب تبدیل انرژی به نور ضرب می شود. این مقادیر، تعداد فوتون های مرئی که باید در هر حجمک سلول تولید شوند را تعیین می کند. از این مرحله به بعد، شبیه سازی ترابرد نور باید انجام شود. بنابراین با داشتن هندسه سوسوزن، خواص اپتیکی وابسته به طول موج، شماره سلول و تعداد فوتون های مرئی که در هر حجمک باید تولید شوند (مثلاً ۱۰۰۰۰ فوتون مرئی در این پژوهش)، کد PHOTRACK در نهایت با شبیه سازی کلیه فرآیندها، وزن فوتون های مرئی رسیده به سطح فوتوکاتد را محاسبه می کند. به این ترتیب می توان یک جدول از وزنهاى فوتونهاى مرئی برای هر حجمک بدست آورد. سپس با استفاده از یک برنامه فرترن، وزن نوری هر حجمک را در انرژی انباشتی آن ضرب کرده و برای هر تاریخچه، نور کل تولیدی حاصل از یک تک فوتون گاما را محاسبه نمود. هنگامی که همه ی فرآیندها

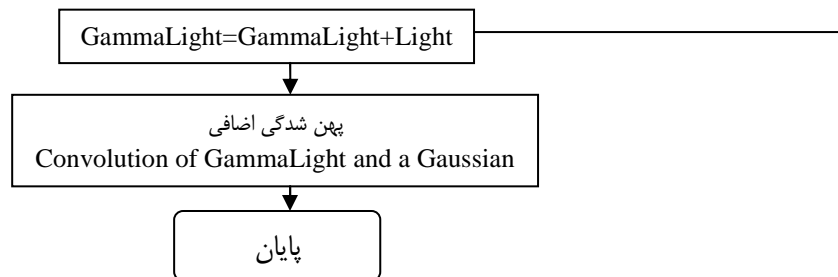


برای تعداد زیادی از تابشهای گاما فرودی تکرار شود، رسم منحنی فراوانی نور کل ترابرد شده، مانسته طیف ارتفاع پالس سوسوزن خواهد بود.

۲-۵. پیش قدرت تفکیک اضافی در طیف بدست آمده از مرحله قبل

مطالعات نشان می دهند که یک پهن شدگی اضافی نیز باید بر روی طیف شبیه سازی مرحله قبل اعمال شود که اساساً ناشی از اثر حضور PMT (که می تواند به نایکنواختی سطح فوتوکاتد، وابستگی به طول موج بهره ی کوانتومی و تکثیر الکترون در زنجیره ی داینود مرتبط باشد) و نیز الکترونیک مربوطه است. این قدرت تفکیک اضافی معمولاً با پیش یک تابع گوسی در طیف خروجی FLUKA+PHOTRACK و MCNP4C+PHOTRACK انجام می شود. شکل‌های (۱-ب) و (۲-الف) به ترتیب یک نمودار مقایسه ای است که در آن افزایش پهن شدگی در اثر ترابرد نور با کد FLUKA+PHOTRACK در قیاس با کد FLUKA و کد MCNP4C+PHOTRACK در قیاس با کد MCNP4C بوضوح دیده می شوند. فلوجارت شکل (۳) گامهای موجود در دو کد هیبریدی برای تولید پاسخ سوسوزن NE102 که در معرض تابش گاما قرار گرفته است را نشان می دهد. برای شکل (۲-ب) اگر چه مقایسه ها، توافق خوبی را در اطراف لبه کامپتون و ناحیه بالای انرژی پیوستار کامپتون نشان می دهد، اما اختلاف در انرژی های پایین پیوستار کامپتون می تواند ناشی از عوامل زیر باشد: (۱) اثر مواد محصورکننده مجموعه آزمایش بر طیف تجربی که در شبیه سازی بحساب نمی آیند. (۲) نوفه الکترونیک که معمولاً در ناحیه کم انرژی طیف غالب است. (۳) اثر در نظر گرفتن اندازه کوچک برای حجمک در فرایند شبیه





شکل ۳. فلوجارت مربوط به مراحل شبیه سازی تابع پاسخ آشکارساز سوسوزن پلاستیکی NE102

۵. نتیجه گیری

پاسخ بدست آمده از کدهای اصطلاحاً هیبریدی FLUKA+PHOTRACK و MCNP4C+PHOTRACK انطباق نسبتاً خوبی دارند. استفاده از ترابرد نور وابسته به طول موج برای داشتن یک شبیه سازی دقیق ضروری است، در غیر اینصورت، شبیه سازی هندسه و سطوح مختلف آشکارساز و نوربر غیر ممکن است. مقایسه نتایج شبیه سازی حاصل از دو کدهیبریدی با نتایج تجربی نشان می دهد که هر دو کد هیبریدی برای شبیه سازی تابع پاسخ آشکارساز سوسوزن NE102 مناسب می باشند.

مراجع

- [1] N. Ghal-Eh et al. A photon transport model code for use in scintillation detectors, Nucl. Instrum. Meth. A. 516 (2004) 116–121.
- [2] J. F. Briesmeister et al. MCNP4C™ – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Los Alamos National Laboratory Report LA-12625-M.
- [3] L. Fasso et al. The physics models of FLUKA: status and recent development, arXiv:hep-ph/0306267.