

## اعمال اثر انباشت بر تالی $F_8$ کد محاسباتی MCNP بوسیله یک برنامه

### کامپیوتری به زبان فرترن

وحید میرزایی ، سید هاشم میری\* ، رضا ایزدی

دانشگاه فردوسی مشهد، گروه فیزیک

#### چکیده

در این کار سعی بر آن بوده است که با توجه به فیزیک مربوط به اثر انباشت این اثر را روی خروجی بدون اثر انباشت کد محاسباتی (MCNP) به وسیله یک الگوریتم سوار کنیم و نتایج حاصل از برنامه را با توجه به هندسه آزمایش مورد نظر با طیف اندازه گیری شده در آزمایشگاه مقایسه کنیم. دقت این کار وابسته به حافظه موقت رایانه قابل تنظیم می باشد و مقدار حداقل حافظه لازم به شدت چشمه مورد بررسی نیز بستگی دارد. همچنین زمان برنامه بسته به میزان دقت مورد نظر و شدت چشمه متغیر است.

#### مقدمه

اثر انباشت اثری است تخریبی که در حالت کلی در رویارویی با این اثر اجتناب ناپذیریم. این اثر باعث می شود که طیف یک چشمه نوعی تغییر کند و تشخیص چشمه مشکل و در بعضی موارد غیر ممکن شود. در روش فعال سازی با نوترون با این اثر زیاد مواجه می شویم، روش فعال سازی با نوترون روشی است کمی و کیفی که برای شناسایی و تشخیص مواد از آن استفاده می شود.

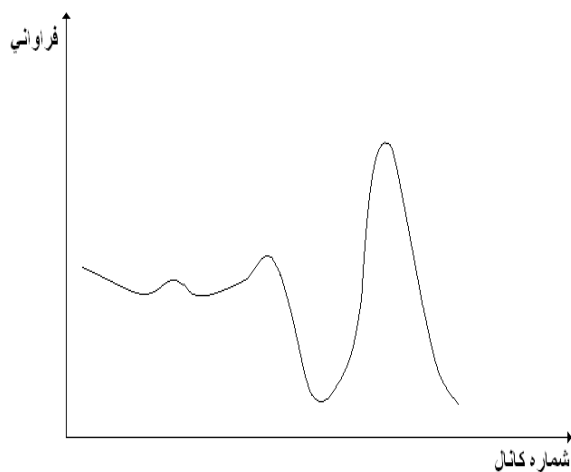
در روش فعال سازی با نوترون، بوسیله پرتو دهی به یک نمونه ناشناخته آنرا فعال کرده و گاماها حاصل از فعال شدن نمونه را می شمارند. این گاماها برای هر ماده طیف خاصی را می دهند که این طیف ها هر کدام دارای قله های مشخصی هستند. مانند طیف اتمی عناصر، طیف گامای ناشی از فعال سازی هر عنصر نیز منحصر بفرد است.

در روش فعال سازی با نوترون اثر انباشت در بسیاری از موارد بخصوص وقتی نمونه به آشکارساز نزدیک باشد طیف را خراب می کند، در فواصل دور که فاصله نمونه تا آشکارساز زیاد است طیف بسیار ضعیف می باشد ممکن است نتیجه لازم به دست نیاید. به همین دلیل شبیه سازی این اثر به ما کمک می کند تا فاصله بهینه را برای بدست آوردن طیف مناسب تخمین بزنیم.

در این کار سعی بر آن بوده است که تالی  $F_8$  کد محاسباتی MCNP که طیف یک چشمه را بدون اثر انباشت می دهد به عنوان ورودی برنامه گرفته و با توجه به فیزیک مربوط به اثر انباشت این اثر را روی ورودی برنامه سوار کنیم.

## تابع پاسخ

فرض کنید طیف یک چشمه گامای تک انرژی را می خواهیم اندازه بگیریم ، برای فوتون گامایی که از چشمه خارج شده و داخل آشکار ساز می شود چه اتفاق هایی ممکن است بیفتد ؟ اتفاق های ممکن عبارتند از: فوتون گاما بوسیله پدیده فتوالکتریک جذب شود : در حالت دیگر ممکن است از طریق پدیده کامپتون پراکنده شود و یا اگر انرژی کافی داشته باشد .تولید زوج رخ دهد . یا حتی دو پدیده از پدیده های مذکور با هم روی دهند ، البته به شرطی که گامای اولیه به اندازه کافی انرژی داشته باشد . بنابراین مشاهده می شود که وقتی یک فوتون گاما وارد آشکار ساز می شود لزوما تمام انرژی خود را در اولین برهم کنش به آشکار ساز نمی دهد . پس باید چشمه ای که تمام فوتون ها گامای خروجی آن تقریبا تک انرژی هستند بعد از انجام عملیات آشکار سازی دارای طیف پیوسته ای از انرژی های صفر تا یک بیشینه باشند . این طیف را اصطلاحا تابع پاسخ آشکارساز گویند . نمونه ای از این



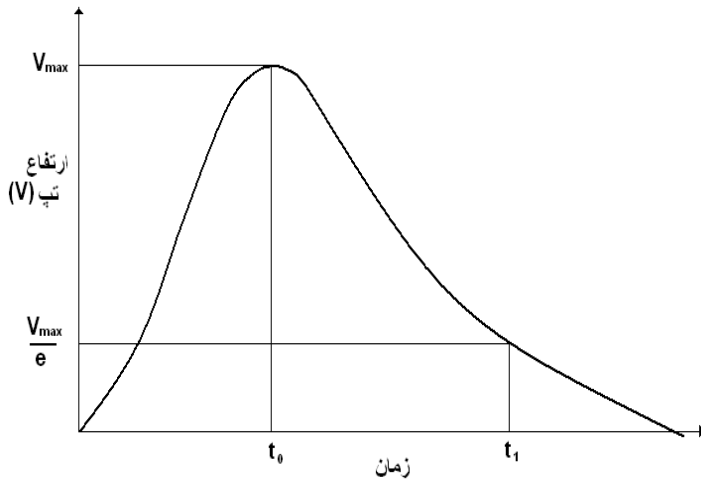
طیف را در شکل ۱ مشاهده می کنید .

همانطور که می دانیم توزیع گاماها ی یک چشمه نسبت به زمان کاملا کاتوره ای و دارای توزیع یکنواخت است ( فرض می کنیم نیمه عمر چشمه بسیار زیاد باشد) . هر فوتون ، بسته به جنس ماده سوسوزن آشکار ساز، زمانی را از لحظه ورود به آشکار ساز تا زمان ثبت در *MCA* سپری می کند . می توان به هر فوتون یک تپ نسبت داد که با ارتفاعی معین شکل می

گیرد، و تا زمانی دوام می آورد (شکل ۲) . شکل ۱: طیف کیفی ارتفاع تپ یک آشکار ساز *NaI(Tl)* از چشمه  $^{137}\text{Cs}$

بنابراین زمان ورود فوتون های گاما نسبت به هم اهمیت پیدا می کند. اکنون با توجه به مفاهیم قسمت های قبل می توان با وارد کردن اثر زمان و شدت چشمه روی طیف خروجی در *MCA* اثر انباشت را توضیح داد.

همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می کنید هر تپ را می توان به دو قسمت تقسیم کرد : قسمت اول از  $t = 0$  تا  $t = t_0$  که به عنوان پیش خیزش تپ یا زمان صعود شناخته می شود ، قسمت دوم  $t > t_0$  زمان که طولانی تر از قسمت اول می باشد و زمان فرو افت تپ نامیده می شود . اکنون فرض کنید دو تپ داریم که معادل دو فوتون گاما می باشند که از لحاظ زمانی با اختلاف زمانی  $\Delta t$  متفاوت وارد آشکار ساز می شوند در این حالت آشکار ساز چه چیزی را ممکن است ثبت کند ؟ بدیهی است که پاسخ این سوال به  $\Delta t$  بستگی دارد .



شکل ۲: نمودار کیفی یک تپ نوعی مشاهده شده در اسلیسکوپ .

آشکارساز و انرژی که هر کدام در آشکارساز ذخیره کرده اند نخواهد بود . بسته به اینکه دو تپ چقدر از نظر زمانی به هم نزدیک باشند ، آشکارساز آنها را یکی شمرده و انرژی بیشتری را ثبت می کند .

همانطور که قبلاً گفته شد ارتفاع هر تپ به صورت تابعی از زمان را به دو قسمت می توان تقسیم کرد ، قسمت اول پیش خیزش تپ ( $0 \leq t \leq t_0$ ) نامیده می شود . قسمت دوم ( $t > t_0$ ) که دم تپ نامیده می شود و به صورت نمایی افت می کند .

در حالت کلی هر طیف دارای قله هایی است که هر کدام از قله ها انرژی مربوط به خود را دارند. ارتفاع هر قله در انرژی  $E_i$  طیف نشان دهنده تعداد فوتون هایی است که به اندازه  $E_i$  از انرژی کل خود را در آشکار ساز ذخیره کرده اند . اکنون با در نظر گرفتن پارامتر زمان و اینکه چشمه ای ( به عنوان مثال  $^{137}\text{Cs}$  ) با شدتی به اندازه کافی بزرگ ، که اثر انباشت در آن مشاهده شود ، می توان با داشتن طیف بدون انباشت این چشمه ( که امکان بدست آوردن آن از طریق شبیه سازی مثلاً با استفاده از نرم افزار  $MCNP$  وجود دارد ) ، احتمالاتی را در مورد طیف همراه با انباشت پیش بینی کرد .

چون فراوانی تپ ها حوالی قله های طیف زیاد می باشد و با توجه به اینکه تپ ها از لحاظ زمانی به صورت تصادفی در بازه زمانی عمل آشکار سازی توزیع شده اند ، می توان انتظار داشت که احتمال ایجاد انباشت و روی هم افتادگی دو تپ در حالتی که انرژی نزدیک به انرژی قله باشد ، نسبت به سایر حالات بیشتر باشد .

با توجه به توضیحات بالا می توان انتظار داشت که در یک انباشت دو گانه، برای چشمه  $^{137}\text{Cs}$  بیشترین احتمال و یا به عبارتی بیشترین فراوانی انباشت باید در انرژی معادل با  $2E_0 = 2 \times 0.662\text{MeV}$  اتفاق بیفتد. بعد از این حالت ، بیشترین احتمال انباشت مربوط به روی هم افتادن دو تپ یکی در انرژی ( $E_0 = 0.662\text{MeV}$ ) و دیگری در حدود انرژی لبه کامپتون خواهد بود. البته لازم به ذکر است که اثر انباشت به وضوح تابعی از شدت چشمه ( فوتون های وارد شده به آشکار ساز در واحد زمان ) و فراوانی قله

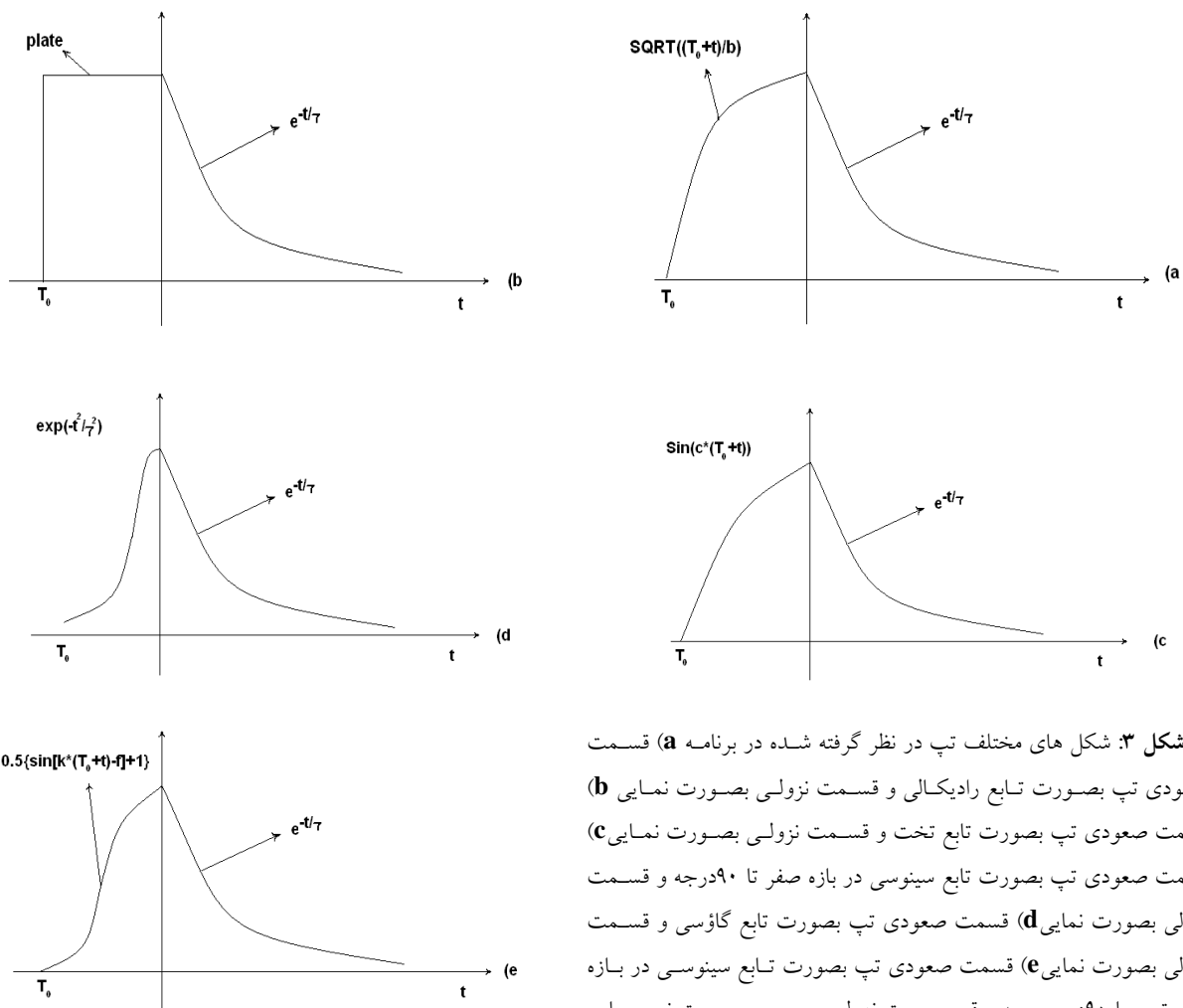
آنگاه احتمال اینکه شمارش دستگاه آشکارساز و طیف انرژی مربوطه صحیح باشد زیاد است زیرا احتمال اینکه دو فوتون گاما از لحاظ زمانی خیلی نزدیک به هم وارد آشکارساز شوند بسیار کم خواهد بود.

اما اگر شدت چشمه یا تعداد فوتون های گامای گسیل شده در واحد زمان زیاد باشد آنگاه طیف خروجی آشکارساز و شمارش آن دقیقاً نشان دهنده تعداد فوتون ها ورودی به

های آن در مقایسه با یکدیگر می باشد. با همین طریق استدلال می توان انباشت با درجات بالاتر را پیش بینی کرد.

توضیحی در مورد برنامه

برنامه نوشته شده با در نظر گرفتن جزئیات و قسمت های مختلف آن این قابلیت را دارد که شکل های مختلفی که با توابع ریاضی قابل بیان باشد را می توان به عنوان شکل تپ در نظر گرفت ، شکل هایی که ما در نظر گرفته ایم بصورت زیر می باشند .



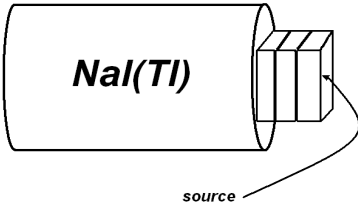
شکل ۳: شکل های مختلف تپ در نظر گرفته شده در برنامه (a) قسمت صعودی تپ بصورت تابع رادیکالی و قسمت نزولی بصورت نمایی (b) قسمت صعودی تپ بصورت تابع تخت و قسمت نزولی بصورت نمایی (c) قسمت صعودی تپ بصورت تابع سینوسی در بازه صفر تا ۹۰ درجه و قسمت نزولی بصورت نمایی (d) قسمت صعودی تپ بصورت تابع گاوسی و قسمت نزولی بصورت نمایی (e) قسمت صعودی تپ بصورت تابع سینوسی در بازه ۹۰- تا ۹۰ درجه و قسمت نزولی بصورت نمایی

شرکت فرآوری اورانیوم و تولید سوخت هسته ای ایران ( فاتسا )

17<sup>th</sup> Iranian Nuclear Conference

در شکل های مختلف تپ در نظر گرفته شده ، پهنای هر تپ را با روش آزمون و خطا آنقدر تغییر داده ایم تا به بهترین مقدار مربوط به پهنای تپ برسیم .

البته برای اطمینان بیشتر با ملاحظه شکل تپ ، روی اسیلوسکوپ مشاهده شد که پارامتر زمان ناشی از تپ حاصل از فوتون های گامای چشمه  $^{137}\text{Cs}$  حدود  $4\mu\text{s}$  است و همچنین ضریب مبین پهنای قسمت صعودی تپ که در واقع نسبت پهنای قسمت صعودی تپ به زمان افت تپ از مقدار بیشینه به  $1/e$  آن مقدار است را حدود  $0.75$  بدست آوردیم .

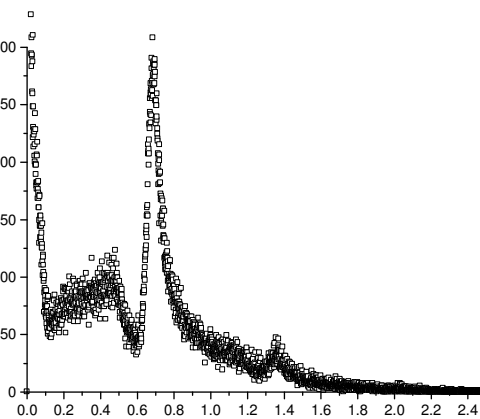
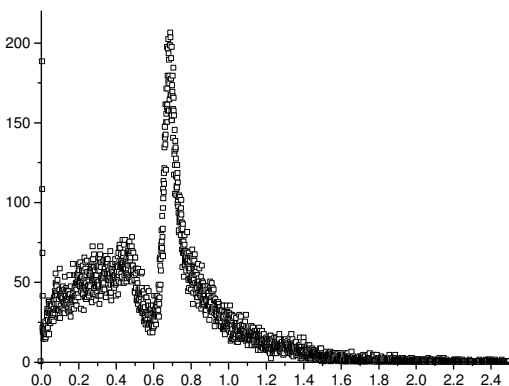
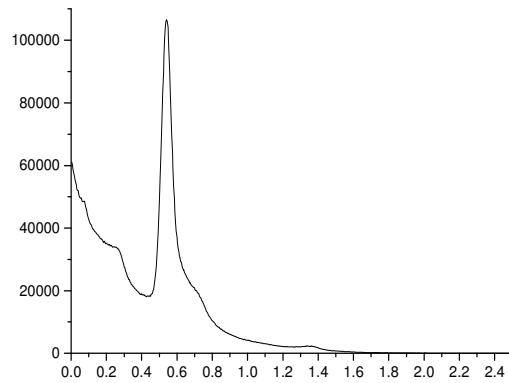
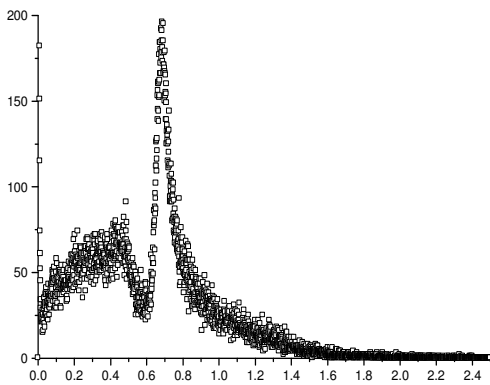


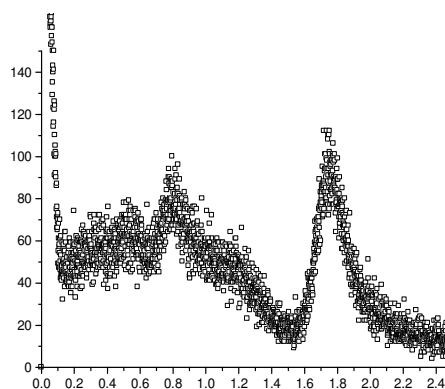
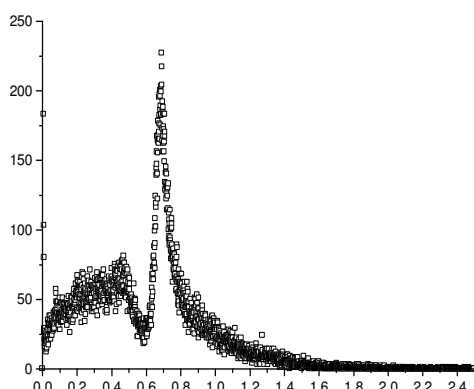
نتایج برنامه

در یک آزمایش طیف سه چشمه سزیم را به ترتیب با شدت های (ثانیه/ فوتون)  $267000$  و (ثانیه/ فوتون)  $321000$  و (ثانیه/ فوتون)  $296000$  را بصورت شکل مقابل گرفتیم ، آشکارساز مورد استفاده بود .

نتایج حاصل از برنامه و طیف بدست آمده در شکل ۵ آورده شده است.

شکل ۴: هندسه آزمایش انجام شده





شکل ۵: (ردیف اول سمت راست) طیف تجربی اندازه گیری شده از سه چشمه سزیم (در تمام قسمت ها محور افقی انرژی و محور عمودی فراوانی می باشد)، (ردیف اول سمت چپ) طیف حاصل از استفاده از شکل تپ شکل ۳ a برای سه چشمه سزیم، (ردیف دوم سمت راست) : طیف حاصل از استفاده از شکل تپ شکل ۳ b برای سه چشمه سزیم، (ردیف دوم سمت چپ) طیف حاصل از استفاده از شکل تپ شکل ۳ c برای سه چشمه سزیم، (ردیف سوم سمت راست) طیف حاصل از استفاده از شکل تپ شکل ۳ d برای سه چشمه سزیم، (ردیف سوم سمت چپ) طیف حاصل از استفاده از شکل تپ شکل ۳ e برای سه چشمه سزیم.

مراجع

[۱] اندازه گیری و آشکارسازی تابش های هسته ای، نیکلاس سولفانیدیس، ترجمه دکتر رحیم کوهی، و دکتر محمد هادی هادیزاده یزدی، کتابستان مشهد ۱۳۷۱.

[۲] مبانی فیزیکی مهندسی هسته ای، ک. المناس - ر. لی، ترجمه دکتر علی پذیرنده، انتشارات دانشگاه تهران

[۳] فیزیک زیر اتمی، هانس فراون فلدنر، ارنست م. هنلی، ترجمه مهدی بارزی، محمد تقی فلاحي مروست، مرکز نشر دانشگاهی

[4] William R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Second Revised Edition, Springer\_Verlag.

[5] Knoll G.F., Radiation and Detection and Measurement, Second Edition, Wiley Inc., New York, (1989).

[۶] فیزیک نوترون، ک. اچ. بکرتیکس و ک. ریرتز، ترجمه دکتر علی افشار و دکتر علی پذیرنده، انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۵۲.

[7] M. Palomba et al., Nucl. Instr. And Meth. A 498 (2003) 397.

[8] M. Palomba et al., Nucl. Instr. And Meth. A 498 (2003) 384.