

## محاسبه مونت کارلوی راندمان آشکارساز HPGe

صالح اشرفی، علی غلامی\*

دانشگاه تبریز، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای.

**چکیده:** رادیواکتیویته طبیعی در محیط اطراف و همچنین در مواد غذایی از طریق اندازه‌گیری طیف گامای منتشر شده از نمونه‌های محیطی و غذایی بوسیله طیف‌سنج HPGe تعیین می‌شود. به دلیل پایین بودن اکتیویته حجم نمونه‌ها باید بزرگ باشد و علاوه بر این باید تاثیر تابشهای زمینه در طیف اندازه‌گیری شده به حداقل برسد. برای کاهش اثر زمینه آشکارساز HPGe با حفاظ ULB احاطه می‌شود. این حفاظ از ۷ سوسوزن پلاستیک به عنوان آشکارساز وتوکننده و یک دیواره سربی به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر تشکیل شده است و قادر است اثر زمینه را ۴۰ برابر کاهش دهد. برای تعیین رادیواکتیویته یک نمونه باید راندمان آشکارسازی طیف‌سنج معلوم باشد. این مقاله نحوه تعیین راندمان آشکارساز HPGe از طریق شبیه‌سازی مونت کارلوی اندرکنش اشعه  $\gamma$  با مواد نمونه و اجزای تشکیل دهنده آشکارساز را تشریح می‌کند. برای شبیه‌سازی از کد GEANT4 استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: HPGe، مونت کارلو، رادیواکتیویته طبیعی، شبیه‌سازی، راندمان، GEANT4.

Keywords: HPGe, Monte carlo, natural radioactivity, simulation, efficiency, GEANT4.

### مقدمه:

محیط زندگی انسان به طور طبیعی رادیواکتیو می‌باشد و این رادیواکتیویته هم منشأ زمینی دارد و هم منشأ کیهانی. غذایی که می‌خوریم، هوایی که تنفس می‌کنیم و زمینی که رویش زندگی می‌کنیم بطور طبیعی رادیواکتیو می‌باشد. به طور متوسط سالانه هر شخص حدود ۳۰۰ میلی‌رم دز رادیواکتیویته طبیعی دریافت می‌کند. از این میزان سهم مواد رادیواکتیو موجود در خاک مانند  $u$ ،  $k$ ،  $Ra$ ،  $Th$ ، ۲۸ میلی‌رم و سهم گاز Rn موجود در هوا ۲۰۰ میلی‌رم و سهم  $^{40}K$  و  $^{14}C$  موجود در بدن ۴۰ میلی‌رم و سهم اشعه کیهانی ۲۶ میلی‌رم می‌باشد. اندازه‌گیری اکتیویته طبیعی به ما کمک می‌کند تا خطرات بالقوه تشعشعات طبیعی را برآورد نماییم [۱]. یکی از مشکلات عملی در اندازه‌گیری اکتیویته یک نمونه وجود تابشهای زمینه می‌باشد. ما در آزمایشی برای اندازه‌گیری اکتیویته طبیعی برای اینکه تاثیر شمارشهای زمینه روی اندازه‌گیری نمونه مورد نظر به حداقل برسد، آشکارساز HPGe و نمونه را داخل دو حفاظ غیر فعال و فعال قرار دادیم. حفاظ غیر فعال دو لایه سرب کهنه به ضخامتهای ۲۰ mm (با اکتیویته کمتر از  $10 Bq/Kg$ ) و ۱۳۰ mm (با اکتیویته کمتر از  $50 Bq/Kg$ ) و حفاظ فعال یک آرایه ۷ تایی از سوسوزنهای پلاستیک می‌باشد. سوسوزنها در مد HPGe با Anticoincidence برای وتو کردن تابشهای زمینه خارجی بکار می‌رود.

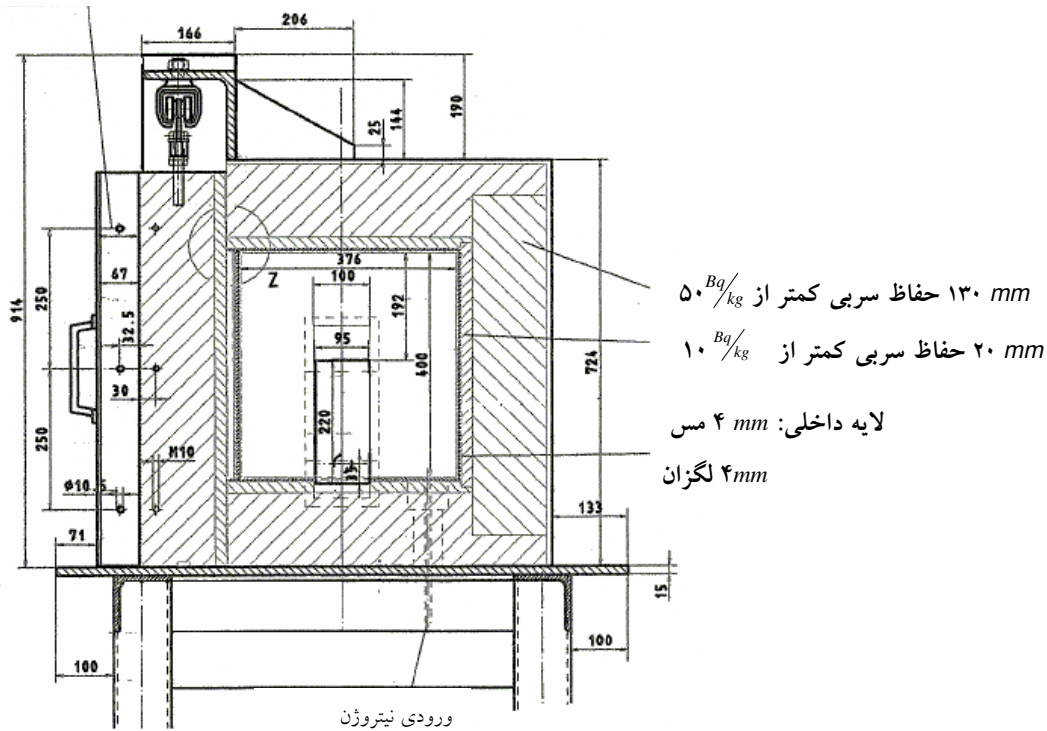
\* Corresponding Author .

Email: Mr.gholami.ali@gmail.com

Tel: 09155088852

مجموعه حفاظ فعال و غیرفعال میزان رادیواکتیویته زمینه را به  $\frac{1}{40}$  مقدار زمینه در آزمایشگاه می‌رساند (شکل (۱)) [۸].

### محل نصب وسوزنها



شکل ۱: سیستم ULB

یکی از پارامترهای مهم دستگاه‌های طیف‌سنج و آشکارسازی (از جمله سیستم مذکور) راندمان آن سیستم می‌باشد که معمولاً به روش تجربی اندازه‌گیری می‌شود. اما این روش مستلزم استفاده از چشمه‌های حجمی و نقطه‌ای استاندارد می‌باشد که در دسترس ما نیست. این مشکل یعنی عدم وجود چشمه‌های استاندارد حجمی، برای نمونه‌هایی مانند خاک، شیر، و مواد ساختمانی که اکتیویته آنها کاملاً مشخص باشد ما را بر آن داشت که از شبیه‌سازی و مقایسه نتایج آن با نتایج تجربی جهت تعیین راندمان استفاده کنیم. در شبیه‌سازی محدودیت انتخاب مواد را نداشته و تنها با در دست داشتن ترکیب شیمیایی مواد می‌توان آنها را برای آزمایشهای مجازی مورد نظر تعریف کرد. بدین منظور در حیطه هسته‌ای چندین کد شبیه‌سازی مانند FLUKA و MCNP و GEANT3 و GEANT4 توسعه و گسترش یافته است.

در این مقاله از کد GEANT4 به منظور شبیه‌سازی آشکارساز HPGe استفاده کردیم و مدلی ساختیم که نتایج محاسباتی آن برای چشمه  $^{137}\text{Cs}$  با نتایج اندازه‌گیری شده. مطابقت بسیار خوبی داشته که مغایرت نتایج زیر ۴٪ می‌باشد. از این مدل می‌توان برای محاسبه راندمان آشکارسازی طیف‌سنج برای هر انرژی اشعه  $\gamma$  و هر نوع نمونه با شرط معلوم بودن ترکیب شیمیایی آن استفاده کرد.

**کد GEANT4:** طراحی کد مونت کارلوی GEANT4 در مرکز CERN و در سال ۱۹۹۴، برای شبیه‌سازی عبور ذرات از درون مواد شروع شد [۶]. این کد بر اساس کامل‌ترین تئوری اندرکنش فوتونها، الکترونها، میونها، هادرونها، یونها، نوترونها، را از انرژی ۲۵۰eV تا چندین PeV نوشته شده است. فرایندهای فیزیکی که در این کد در نظر گرفته شده‌اند عبارتند از:

- اندرکنش فوتون با ماده شامل: پراکندگی کامپتون- تولید زوج- فوتوالکتریک.
- اندرکنش  $e^+$ ,  $e^-$  با ماده شامل: تابش ترمزی- تولید تابش دلتا و یونیزاسیون- نابودی پوزیترون- کاهش انرژی- تابش سینکروترون.
- فرایندهای هادرونی شامل: یونیزاسیون- اتلاف انرژی آنها.
- اندرکنش میونی شامل: تابش ترمزی- تابش دلتا و یونیزاسیون- اندرکنش هسته‌ای- تولید جفت مستقیم- اتلاف انرژی.
- تابش X شامل: فرآیند چرنکوف و تابش انتقال.

طراحی کد GEANT4 بر پایه تکنولوژی شی‌گرا و در زبان ++C صورت گرفته و تحت سیستم عامل‌های لینوکس با کامپایلر ++g یا ویندوز با کامپایلر Visual ++C قابل استفاده است. به منظور ارتباط راحت‌تر با کاربر، سیستم‌های گرافیکی سه بعدی همچون Wired و Down و GAG و ... ایجاد شده است و این یکی از برتریهای GEANT4 نسبت به کدهای قدیمی‌تری چون MCNP, FLUKA, GEANT3 و ... می‌باشد [۴].

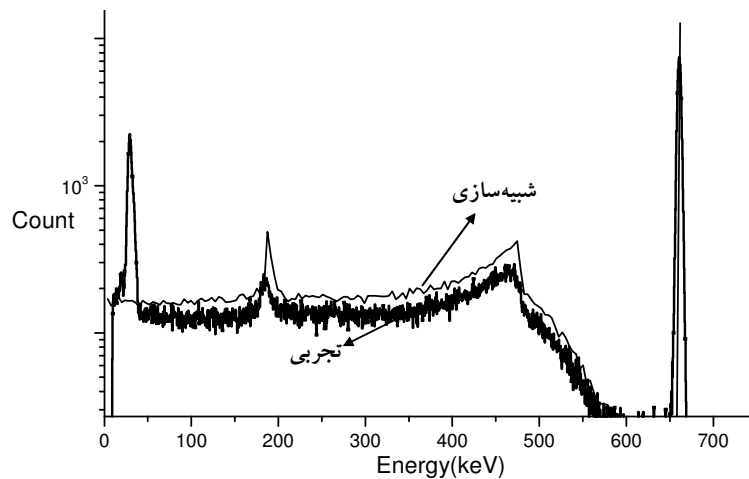
## روش کار

**اندازه‌گیری:** در آزمایش تجربی از چشمه استاندارد نقطه‌ای  $^{137}\text{Cs}$  (۱۱/۱۸ kBq) ساخت کشور بلاروس استفاده کردیم. این چشمه را در بالای کریستال HPGe و در راستای محور آن به فاصله ۳۲mm قرار دادیم و به مدت ۵۰۲ ثانیه شمارش کردیم. طیف حاصله که توسط نرم‌افزار Meastro آنالیز شده است در شکل (۲) آمده است.

**شبیه‌سازی مونت کارلو:** در GEANT4 فرایندهای الکترومغناطیسی زیر برای اسپکترومتری گاما مورد نیاز است: پراکندگی کامپتون- اثر فوتوالکتریک-تولید جفت - پراکندگی متوالی (چندگانه)- فلورسانس - تابش ترمزی- یونیزاسیون [۴]. برای سادگی فرض شده که ۱) دتکتور دارای تقارن استوانه‌ای می‌باشد. ۲) راندمان جمع‌آوری بارها در داخل کریستال یکنواخت بوده و اثر تضعیف میدان الکتریکی در لبه‌های کریستال نادیده گرفته شده است، ۳) به علت کم اهمیت بودن انرژی پایین‌تر از ۵۰keV در طیف‌سنجی اشعه  $\gamma$ ، از توابع Low Energy تعبیه شده از کد استفاده نکرده‌ایم. برای شبیه‌سازی، اطلاعات مربوط به ابعاد کریستال ژرمانیوم و محفظه آلومینیومی اطراف آن و انرژی فوتونها و مختصات محل گسیل فوتونها را در روتین‌های مناسب کد GEANT4 وارد نمودیم. میزان انرژی منتقل شده از فوتونهای  $\gamma$  به کریستال طی سه مکانیسم: جذب فوتوالکتریک، پراکندگی کامپتون و تولید جفت را ثبت نمودیم. میزان انرژی ذخیره شده را برای فوتونهای گسیل شده بصورت هیستوگرام رسم نمودیم تا طیف اشعه  $\gamma$  شبیه‌سازی بدست آید. با تغییر ضخامت و شکل لایه مرده طیف شبیه‌سازی و تجربی را با یکدیگر تطبیق دادیم.

### نتایج:

شکل (۲) طیف حاصله برای  $^{137}\text{Cs}$  نقطه‌ای در فاصله ۳۲ mm را نشان می‌دهد که از دو روش تجربی و شبیه‌سازی بدست آمده است (جهت وضوح، طیف شبیه‌سازی شده مقداری به سمت بالا شیفت داده شده است). محل فوتوپیک و لبه کامپتون و پیک Backscattering و همچنین شکل طیف برای طیفهای شبیه‌سازی شده و تجربی در تطابق کامل می‌باشند. لیکن از آنجا که راندمان جمع‌آوری بارها در داخل کریستال ۱۰۰٪ فرض شده است و اثر تضعیف میدان الکتریکی در بین دو الکتروود و ماهیت تصادفی آن نادیده گرفته شده است، بجای پیک گاوسی شکل یک خط راست در انرژی ۶۶۱/۶۲ keV مشاهده می‌شود. بدیهی است که ارتفاع پیک شبیه‌سازی شده برابر با سطح زیر منحنی پیک تجربی می‌باشد. از طرف دیگر چون مواد اطراف آشکارساز HPGe بطور کامل در نظر گرفته نشده است از این رو در محل قله Backscattering نیز شکل طیف تجربی و شبیه‌سازی شده یکسان نمی‌باشد [۸]. همین مسئله موجب متفاوت بودن شدت اشعه X در طیف شبیه‌سازی و طیف تجربی شده است.



شکل ۲: طیف چشمه  $^{137}\text{Cs}$  در فاصله ۳۲mm که از دو روش تجربی و شبیه‌سازی بدست آمده است.

جدول شماره (۳) راندمان شبیه‌سازی شده و تجربی را در فواصل مختلف چشمه دکتور نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که عدم تطابق راندمان تجربی و شبیه‌سازی در تمام موارد اندازه‌گیری شده کمتر از ۴٪ می‌باشد. بنابراین مدل بدست آمده را می‌توان با دقت بسیار بالایی برای بدست آوردن راندمان دکتور در نمونه‌های حجمی بکار برد.

جدول ۳: راندمان آشکارسازی برای چشمه  $^{137}\text{Cs}$

فاصله	تجربی	شبیه‌سازی	خطا
۱	۵/۱۱	۵/۲۴۷(۲۰)	+۲/۶۱
۳۲	۱/۸۲	۱/۸۰۵	-۰/۸۳
۶۱	۰/۹۲	۰/۹۲۰	۰
۹۱	۰/۵۴	۰/۵۴۷	+۱/۲۷
۱۲۱	۰/۳۶	۰/۳۵۳	-۱/۹۸
۱۵۱	۰/۲۶	۰/۲۵۴	-۲/۳۶
۱۸۱	۰/۱۹	۰/۱۸۵	-۲/۷۰

## منابع:

- [1]- N, Tsoufanidis. 1983. Measurement and detection of radiation.
- [2]-Agostinelli, S. Allison, J .2003. Geant4—a simulation toolkit. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 506: 250-303.
- [3]-Anonymous. 2004. Physics Reference Manual.  
<http://geant4.web.cern.ch/geant4/G4UsersDocuments> .
- [4]-Anonymous.2004.Geant4 User's Guide - For Application Developers.  
<http://geant4.web.cern.ch/geant4/G4UsersDocuments> .
- [5]-Debertin, K. and Helmer, G.R.1988. Gamma – and X- Ray spectrometry with semiconductor Detector. Elsevier science publishers B.V.
- [6]- Eva, I.O.B. Bodizs, D. Czifrus,Sz. Molnar,Zn . 2001. Monte Carlo determination of full energy peak efficiency for a HPGe detector. Applied Radiation and Isotopes 55:103-108.
- [7]-Keyser, R. M. EFFICIENCY AND RESOLUTION OF GERMANIUM DETECTORS AS A FUNCTION OF ENERGY AND INCIDENT GEOMETRY. New Product Development, ORTEC, 801. South Illinois Avenue, Oak Ridge, TN 37831.
- [8]-Knoll, G.F.1999.Radiation detection and measurement. Jon Wiley and Sons, Inc.
- [9]-Martin, J.E. 1934. Physics for radioation protection. Awiley – Interscience publication.