

تعیین لایه مرده آشکارساز HPGe

INC29-1345

حافظ تقی پور اصلانی^{۱*}، علیرضا جوکار^۲، علی اکبر مهماندوست خواجه داد^۱، حسین رفیع خیری^۲

۱. گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، صندوق پستی: ۹۸۷-۹۸۱۵۵، زاهدان-ایران.

۲. گروه فیزیک و شتابگرها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی: ۸۳۶-۱۴۳۹۵، تهران-ایران.

چکیده:

در این کار یک آشکارساز HPGe با کد مونت کارلو MCNP6 شبیه‌سازی شد و لایه مرده آن محاسبه گردید. طیف تجربی حاصل از دو چشمه ^{152}Eu و ^{133}Ba با طیف شبیه‌سازی شده توسط کد مقایسه شده و پس از مشاهده اختلاف بین مقادیر محاسبه‌شده و داده‌های تجربی، سعی شد با تغییر دادن لایه مرده آشکارساز و اجرای کد مقدار حقیقی آن، که بیشترین مطابقت را با داده‌های تجربی دارد، محاسبه گردد. مقدار گزارش شده توسط شرکت سازنده برای لایه مرده ۱ میلی‌متر بود که محاسبات نشان داد مقدار آن تغییر کرده است و به ۱/۷۵ میلی‌متر رسیده است.

کلیدواژه‌ها: شبیه‌سازی مونت کارلو، MCNP6، لایه مرده

Determination of HPGe detector dead layer

H. Taghipour Aslani^{1*}, A. R. Jokar², A. A. Mehmandoost-Khajeh-Dad¹, H. Rafi-kheiri²

1. Physics Department, University of Sistan and Baluchestan, P.O.Box: 98155-987., Zahedan, Iran.

2 Physics & Accelerators Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, P.O.Box: 14395-836, Tehran, Iran.

Abstract:

Abstract text, In this work, an HPGe detector was simulated with MCNP6 Monte Carlo code and its dead layer were calculated. Experimental spectrum from two sources of Eu-152 and Ba-133 was compared with the spectrum simulated by the code. After observing the difference between the calculated values and the experimental data, it was tried to calculate the true value by changing the dead layer of the detector and running the code, which is the most consistent with the experimental data. The value reported by the manufacturing company for the dead layer was 1 mm, and calculations showed that its value has changed and reached 1.75 m.

Keywords: Monte Carlo code, MCNP6, dead layer

۱. مقدمه:

آشکارساز HPGe، به دلیل قدرت تفکیک بالای انرژی آن، که تمایز بین فوتون‌های با انرژی‌های بسیار نزدیک را امکان‌پذیر می‌سازد، به طور گسترده در آزمایشگاه‌های طیف‌سنجی هسته‌ای برای تعیین کمیت و کیفیت رادیونوکلیدهای طبیعی و مصنوعی برای اندازه‌گیری‌های رادیواکتیو مانند آنالیز نمونه‌های محیطی و آزمایش‌های فعال‌سازی استفاده می‌شود [۱، ۲]. دقیقترین روش برای تعیین کارایی آشکارساز HPGe روش تجربی است که در آن نیازی به تقریب نیست. اما با این حال، روش تجربی ممکن است از نظر تهیه چشمه و از نظر زمان اندازه‌گیری با محدودیت همراه باشد [۳ و ۴]. این روزها روش مونت کارلو به طور گسترده‌ای برای انتقال فوتون‌ها و ذرات، طراحی سیستم‌های تشعشی و راکتورها، شبیه‌سازی انواع مختلف واکنش‌های هسته‌ای و غیره استفاده می‌شود [۵]. این ابزار قدرتمند بسیار انعطاف‌پذیر است و امکان تجزیه و تحلیل طیف گسترده‌ای از انرژی‌ها را فراهم می‌کند. در این کار، ما قصد داریم یک آشکارساز HPGe را که برای روش آنالیز گسیل پرتو گاما ذره - القایی (PIGE) استفاده می‌شود، شبیه‌سازی کنیم [۶]. لایه مرده آشکارساز، که معمولاً از جنس ژرمانیوم است، با گذشت زمان تغییر کرده و ضخیم‌تر می‌شود [۷]. لازم به توضیح است که افزایش لایه مرده اثر مستقیمی بر نمودار کالیبراسیون بازده آشکارساز HPGe در ناحیه گاماها کم انرژی دارد. لایه مرده بلور Ge مقداری از انرژی پرتوهای گامای کم انرژی را جذب می‌کند. با افزایش انرژی فوتونها مقدار جذب انرژی در لایه مرده کمتر ولی احتمال پدیده فوتوالکتریک در بلور افزایش می‌یابد. نتیجه این دو عامل باعث ایجاد یک قله در ناحیه کم انرژی نمودار بازده آشکارساز خواهد شد. در این پژوهش ما قصد داریم میزان افزایش لایه مرده آشکارساز را نسبت مقدار گزارش شده شرکت سازنده بدست آوریم.

۲. روش کار:

آشکارساز مورد استفاده در این تحقیق یک آشکارساز HPGe نوع P مدل IGC50195 که توسط PGT (Princeton Gamma Tech) ساخته شده است، مشخصات کلی این آشکارساز در جدول ۱ آورده شده است. برای کاهش پرتوهای زمینه استوانه از جنس سرب به ضخامت ۵ cm آشکارساز را احاطه کرده است. همچنین یک لایه مسی به قطر ۳ cm زیر لایه سربی نصب شده است. در قدم اول ما به تعدادی چشمه پرتوزای استاندارد نیاز داریم که شبیه سازی‌ها را بر اساس مشخصات این چشمه‌ها انجام داده و با طیف‌های تجربی حاصل از آن‌ها مقایسه کنیم. در جدول ۲ مشخصات دو چشمه نقطه‌ای مورد استفاده ذکر شده است.

جدول ۱. مشخصات هندسی آشکارساز گزارش شده توسط شرکت سازنده

مشخصات آشکارساز گاما	اندازه (میلی متر)
قطر کریستال ژرمانیوم	۶۵/۸
طول کریستال ژرمانیوم	۶۵/۸
فاصله از کریستال تا درپوش جلویی	۵
قطر هسته خالی	۹
طول هسته خالی	۵۳
ضخامت لایه مرده جانبی	۱
ضخامت لایه مرده داخلی	۰/۰۰۰۳

جدول ۲. مشخصات چشمه‌های نقطه‌ای پرتوزا مورد استفاده در آزمایش‌ها

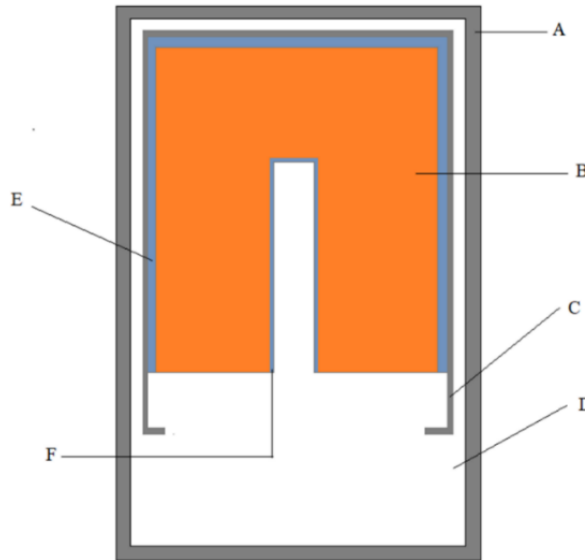
چشمه	واپاشی (روز)	انرژی فوتون (keV)	احتمال گسیل فوتون (بر هر واپاشی)	اکتیویته (kBq)	
¹⁵² Eu	۴۹۴۱(۷)	۱۲۱/۷۸۱(۳)	۰/۲۸۴۱(۱۳)	۶۴/۳۹	
		۲۴۴/۶۹۷۴(۸)	۰/۰۷۵۵(۴)		
		۳۴۴/۲۷۸۵(۱۲)	۰/۲۶۵۸(۱۲)		
		۴۱۱/۱۱۶۵(۱۲)	۰/۰۲۳۳۷(۱۰)		
		۸۶۷/۳۸۰(۳)	۰/۰۴۲۴۱(۱۳)		
		۹۶۴/۰۷۲(۱۸)	۰/۱۴۶۲(۶)		
		۱۰۸۵/۷۳۷(۵)	۰/۱۰۱۳(۶)		
		۱۰۸۹/۷۳۷(۵)	۰/۰۱۷۳۱(۱۰)		
		۱۱۱۲/۰۷۶(۳)	۰/۱۳۴۰(۶)		
		۱۲۱۲/۹۴۸(۱۱)	۰/۰۱۴۱۵(۹)		
		۱۲۹۹/۱۴۲(۸)	۰/۰۱۶۳۲(۹)		
		۱۴۰۸/۰۱۳(۳)	۰/۲۰۸۵(۹)		
		۲۸۴۸/۷(۱۲)	۵۳/۱۶۲۲(۶)	۰/۰۲۱۴(۳)	۵۶/۸۴
		¹³³ Ba	۷۹۶۱۴۲(۱۲)	۸۰/۹۹۷۹(۱۱)	۰/۳۲۹(۳)
۳۰۲/۸۵۰۸(۵) ۲۷۶/۳۹۸۹(۱۲)	۰/۰۷۱۶(۵)				
۳۵۶/۰۱۲۹(۷)	۰/۱۸۳۴(۱۳)				
۳۸۳/۸۴۸۵(۱۲)	۰/۶۲۰۵(۱۹)				
	۰/۰۸۹۳(۶)				

۳. شبیه سازی:

ساختار آزمایشی با استفاده از کد ترابرد Monte Carlo N-Particle (MCNP) مدل‌سازی شد. رفتار فیزیکی دقیق، از جمله اثر فوتوالکتریک، پراکندگی نامنسجم با عوامل شکل و تولید جفت، در نظر گرفته شد [۸]. هندسه آشکارساز به صورت دقیق و بر اساس اندازه‌های واقعی شبیه‌سازی شد. همچنین چشمه‌های نقطه‌ای پرتوزای بکار برده شده به طور دقیق و در فاصله واقعی با آشکارساز شبیه‌سازی شدند. برای تعیین ضریب پهن‌شدگی گاوسی از کارت GEB کد استفاده کردیم و در برنامه ورودی تعریف شد. گزینه‌های این کارت اجازه می‌دهد تا وضوح آشکارساز را در انرژی‌هایی مختلف فوتون‌ها تلفیق کنید. پهنای کامل در نیم بیشینه (FWHM) معیاری از میزان پهن‌شدگی هر قله در طیف به دست آمده می‌باشد.

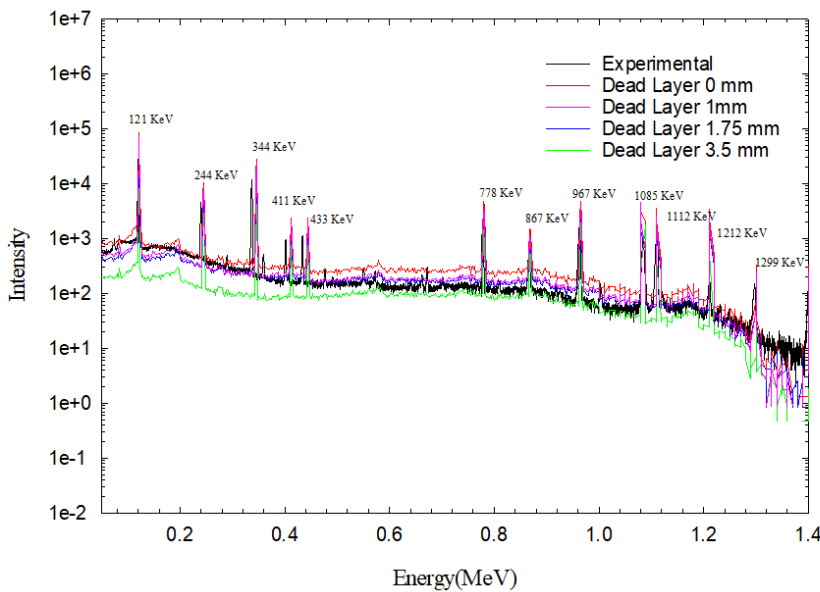
$$FWHM (MeV) = a + b\sqrt{E} + cE^2 \quad (1)$$

که در آن E انرژی ذره فرودی بر حسب MeV است و پارامترهای $a = 1/684 \times 10^{-4}$ ، $b = 3/205 \times 10^{-3}$ و $c = 0/196$ به نوع آشکارساز، اندازه، و قطعات الکترونیکی بستگی دارد. برای تعیین ضرائب فوق، ابتدا پهنای کامل در نیم بیشینه به ازای نقاط تجربی انرژی متفاوت اندازه‌گیری شده و سپس با برازش رابطه (۱) بر روی این نقاط ضرائب مورد نظر محاسبه شده است. هندسه آشکارساز مورد استفاده در شبیه‌سازی مطابق با ابعاد واقعی آن است، همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است.

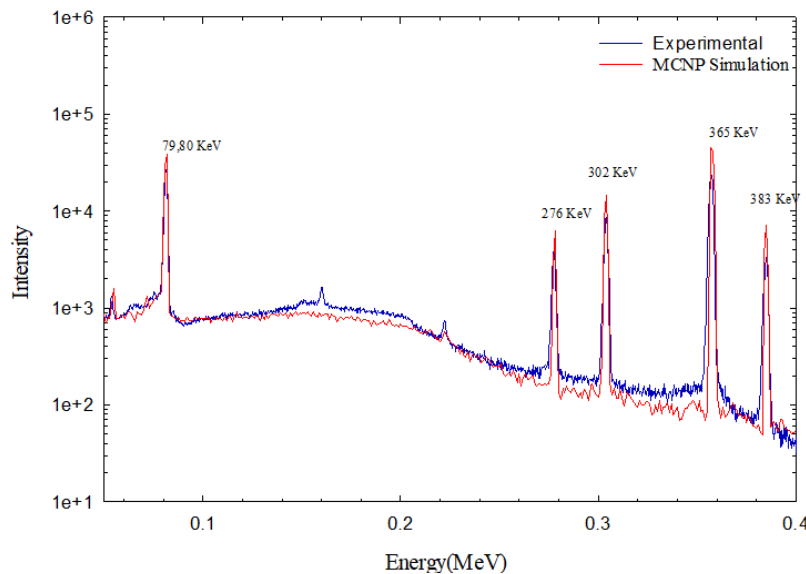


شکل ۱. هندسه آشکارساز HPGe مورد استفاده در شبیه‌سازی. قسمت‌های مختلف شکل به شرح زیر است: (A) درپوش انتهایی آلومینیومی، (B) کریستال ژرمانیوم، (C) سرپوش پایه آلومینیومی، (D) فاصله خلاء، (E) لایه‌مرده جانبی، از جنس ژرمانیوم، (F) لایه‌مرده داخلی، از جنس ژرمانیوم.

چشمه نقطه ای $Eu-152$ در فاصله $5/19$ سانتی‌متر از آشکارساز قرار داده شد و طیف تجربی آن با استفاده از نرم افزار Quantum Gold استخراج و تجزیه‌تحلیل شد. همین شرایط آزمایش در کد شبیه‌سازی شد و طیف به دست آمده با طیف تجربی مقایسه شد. مقایسه این دو طیف اختلافات برجسته‌ای را نشان می‌داد. این اختلاف می‌تواند ناشی از خطای محاسباتی، اشتباه در شبیه‌سازی اندازه و ابعاد هندسی و مخصوصاً اندازه لایه‌مرده باشد [۹-۱۳]. هندسه شبیه‌سازی شده و تمام خطوط کد چندین بار بررسی و اطمینان حاصل شد اشتباهی صورت نگرفته است. از آنجایی که ضخامت لایه‌مرده شبیه‌سازی شده مقداری است که سازنده گزارش کرده بود و با توجه به عمر بیش از ۱۰ سال آشکارساز و کارکرد مداوم آن بدون شک ضخامت این لایه تغییر کرده است. بنابراین به تغییر ضخامت لایه‌مرده در کد پرداختیم و برنامه را برای ضخامت‌های $1-3/5$ میلی‌متر با گام‌های $0/5$ میلی‌متر اجرا کردیم، همچنین در یکی از اجراها ضخامت لایه را صفر قرار دادیم. مقایسه طیف‌های حاصل از ضخامت‌های مختلف با طیف تجربی حاکی از این بود که ضخامت لایه‌مرده آشکارساز به $1/75$ میلی‌متر تغییر کرده است. در شکل ۲ مقایسه چند طیف با ضخامت متفاوت با طیف تجربی ذکر شده است. به منظور بررسی توانایی کد MCNP6 در شبیه‌سازی آشکارساز HPGe و محاسبه‌ی تابع پاسخ این آشکارساز، لازم است چشمه‌ی پرتوزای دیگری با انرژی متفاوت نیز شبیه‌سازی شود. بدین منظور $Ba-133$ با توجه به قله‌های متعدد انتخاب شد. چشمه‌ی $Ba-133$ در فاصله $5/19$ سانتیمتر در آزمایشگاه شبیه‌سازی گردید و طیف محاسبه شده با طیف حاصل از آزمایش مقایسه شد. روند انجام شده برای چشمه نقطه ای $Eu-152$ برای این چشمه نیز تکرار شد و مشاهده شد که خطای محاسبات نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده مشابه با طیف مربوط به $Eu-152$ بود.



شکل ۲. مقایسه‌ی بین طیف تجربی با طیف محاسبه شده چشمه $Eu-152$ به ازای ضخامت‌های مختلف لایه مرده



شکل ۳. مقایسه‌ی طیف $Ba-133$ حاصل از شبیه‌سازی با طیف تجربی به ازای لایه‌ی مرده با ضخامت ۱/۷۵ میلی متر.

۴. بحث و نتیجه‌گیری:

تابع پاسخ آشکارساز مورد مطالعه به ازای لایه‌ی مرده خارجی با ضخامت‌های از ۱-۳/۵ mm در کد محاسباتی MCNP6 شبیه‌سازی شد. ضخامت ۱/۷۵mm، برای این لایه بیشترین تطابق را با نتایج تجربی نشان داد. برای اطمینان از نتایج، شبیه‌سازی را برای چشمه $Ba-133$ با لایه مرده به ضخامت ۱/۷۵mm تکرار کردیم، همان‌طور که در شکل ۳ می‌بینید این شبیه‌سازی، توافق خوبی را با داده‌های تجربی نشان می‌دهد. در نتیجه ضخامت لایه مرده نسبت به مقدار اولیه اعلام شده از سوی سازنده به میزان ۰/۷۵mm افزایش یافته است. بخش اعظم این افزایش ضخامت به دلیل آسیب بر اثر پرتو است، به همین دلیل لایه مرده خارجی معمولاً در طی زمان افزایش می‌یابد و لایه مرده داخلی دچار تغییر محسوسی نمی‌شود.

۶. مراجع

1. C.C. Conti, A detailed procedure to simulate an HPGe detector with MCNP5, Progress in Nuclear Energy 66 (2013) 35-40
2. Hany El-Gamal, Hani Negm & Mohamed Hasabelnaby (2019): Detection efficiency of NaI(Tl) detector based on the fabricated calibration of HPGe detector, Journal of Radiation Research and Applied Sciences.
3. F. El-Daoushy, Well Ge and semi-planar Ge (HP) detectors for low-level gamma-spectrometry, Nucl. Instr. and Meth. A 356 (1995) 376.
4. O. Sima, Accurate calculation of total efficiency of Ge well-type detectors suitable for efficiency calibration using common standard sources, Nucl. Instr. and Meth. A 450 (2000) 98.
5. Moreira, Marcos, A new NaI(Tl) four-detector layout for field contamination assessment using artificial neural networks and the Monte Carlo method for system calibration. Nucl. Instruments Methods Phys. Res. A 621(2010), 302-309.
6. G. Calzolari et al, "Proton Induced γ -ray Yield for Analysis of light Elements in Aerosol Sample in an External Beam Set-up", Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B264 (2007) 340-344.
7. F. Saheli, Evaluation the nonlinear response function of a HPGe detector for 59 keV to 10.7 MeV gamma-rays using a Monte Carlo simulation and comparison with experimental data, IOP Publishing for Sissa Medialab, Published: July 2, 2021
8. MCNPX User's Manual Version 2.6.0, April 2008 LA-CP-07-1473
9. J. Bosona, G. Agren, L. Johansson; "A detailed investigation of HPGe detector response for improved Monte Carlo efficiency calculations"; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 587, (2008) 304-314.
10. B.P. Mohanty, P. Balouria, M.L. Garg, T.K. Nandi, V.K. Mittala, I.M. Govil; " Comparison of experimental and theoretical efficiency of HPGe X-ray detector"; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 584, (2008) 186-90.
11. N. Q. Huy; "The influence of dead layer thickness increase on efficiency decrease for a coaxial HPGe p-type detector"; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A:Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 621, (2010) 390-394.
12. Salgado, C.M. Conti, H.B. Paulo, C.C. Becker; "Determination of HPGe detector response using MCNP5 for 20-150keV X-rays"; Applied Radiation and Isotopes, 64, (2006) 700.
13. D. Budjas, M. Heisel, W. Maneschg, H. simgen; "Optimisation of the MC-model of a p-type Ge-spectrometer for the purpose of efficiency determination"; Applied Radiation and Isotopes, 67, (2009) 706.