



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

اندازه گیری پارامترهای مشخصه آشکارساز HPGe و برآورد کمینه اکتیویتهی قابل سنجش با آن

یاسمن نصیرزاده^(۱) - بهرام سلیمانی^(۲) - مسعود احمدی^(۳)

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد فیزیک - دانشگاه باهنر کرمان - کرمان
^۲ پژوهشگر راکتور اصفهان، اصفهان

چکیده:

با گذشت زمان به دلیل تشکیل لایه مرده در بلور آشکارسازها و تغییر در ساختار بلوری آنها و همچنین اثرات ناشی از سیستم الکترونیکی پردازنده طیف، پارامترهای مشخصه طیف سنجی آنها از جمله قدرت تفکیک طیفی و بازده انرژی نسبت به مقادیر اولیه تغییر خواهد کرد و آشکارساز از حالت کالیبره بودن خارج می شود لذا برای تحلیل درست طیف خروجی، کالیبره کردن مجدد آنها ضروری است. در این مطالعه پارامترهای مشخصه آشکارساز HPGe موجود در پژوهشگره راکتور اصفهان مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت ایده آل FWHM و قدرت تفکیک نسبی آشکارساز در خط انرژی ^{60}Co 1332KeV به ترتیب $1/87\text{KeV}$ و 14% درصد می باشد که در حال حاضر به $2/49\text{ KeV}$ و $18/69\%$ درصد تغییر یافته است.

کلیدواژه: آشکارساز HPGe، بازدهی قله ای، مینیمم اکتیویتهی قابل اندازه گیری، قدرت تفکیک طیفی FWHM

مقدمه: آشکارساز HPGe، آشکارساز نیم رسانا با درجهی خلوص بالا است و اساس فرآیند آشکارسازی آن به صورت ورود فوتون به ناحیهی فعال آشکارساز، تولید جفت الکترون-حفره، ایجاد تپ انرژی به کمک الکترونهای تولید شده و در نهایت تقویت تپ مذکور و تبدیل آن به پالسهای الکتریکی است [۱ و ۲]. از جمله مزیت های آن در طیف سنجی گاما، قدرت تفکیک طیفی بالای آن در مقایسه با آشکارسازهای سوسوزن است [۲]. در هر طیف نگاری پرتو گاما، کالیبره بودن آشکارساز و به روز بودن مشخصه های آشکارسازی از جمله قدرت تفکیک طیفی^۱، بازده قله ای^۲ و مینیمم اکتیویتهی قابل اندازه گیری^۳، ضروری است.

قدرت تفکیک طیفی (FWHM)؛ این پارامتر برابر $FWHM^2 = W_D^2 + W_\alpha^2 + W_E^2$ می باشد که $W_D = 2.355\sqrt{F w E_\gamma}$ قدرت تفکیک ذاتی آشکارساز است و در آن E_γ انرژی فوتون ورودی به آشکارساز، F فاکتور

^۱Resolution

^۲Full Energy Peak Efficiency

^۳Minimum Detectable Activity

^۴Full Width at Half Maximum



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۱۷ و ۱۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

فانو و w میانگین انرژی لازم برای ایجاد یک جفت الکترون-حفره در ناحیه‌ی فعال آشکارساز است [۳]. برای آشکارساز HPGe با دمای کار بهینه‌ی ۷۷ K، مقدار میانگین w برابر $2/96eV$ و فاکتور فانو در حدود ۰/۱ است [۲]. W_{α} سهم ناشی از اجتماع حامل‌های بار ایجاد شده درون آشکارساز، زمانی قابل توجه است که حجم حساس آشکارساز بزرگ و میدان الکتریکی اعمال شده به آن ضعیف باشد. W_E سهم ناشی از سیستم الکترونیکی تقویت کننده‌ی تپ تولیدی آشکارساز است و نقش عمده‌ای در مقدار FWHM دارد.

مینیمم اکتیویته‌ی قابل اندازه‌گیری (MDA): هر آشکارساز قابلیت اندازه‌گیری مقدار کمینه‌ی اکتیویته‌ی از یک رادیوایزوتوپ را به ازای سنجش هر خط انرژی آن دارد. این کمیت به صورت $MDA(Bq) = \frac{(2.71+4.65\sqrt{B})}{\epsilon P_{\gamma} t_m}$ محاسبه می‌شود [۶]. که در آن P_{γ} ، نسبت شاخه‌ای ϵ ، بازده قله‌ای آشکارساز در خط انرژی مورد سنجش، B بخشی از مساحت زیر قله مربوطه به شمارش‌های زمینه t_m ، زمان در نظر گرفته شده برای اندازه‌گیری MDA است. هر اندازه MDA برای یک آشکارساز کوچکتر باشد مقادیر با اکتیویته کمتر قابل تشخیص می‌شود.

بازده قله‌ای: این مشخصه برابر $\epsilon = \frac{A_c}{A_t P_{\gamma}}$ است. که در آن، A_c مساحت خالص زیر قله‌ی انرژی در واحد زمان، P_{γ} نسبت شاخه‌ای مربوط به خط انرژی قله و A_t اکتیویته‌ی ایزوتوپ به کار گرفته شده است. با فرض گوسی بودن قله‌ها، مساحت زیر آنها برابر $\sqrt{\frac{\pi}{4 \ln 2}} N_0 \Delta E$ است که در آن N_0 شمارش در ماکزیمم نقطه‌ی قله و ΔE نیم پهنای قله بر حسب انرژی است [۷].

روش کار: آشکارساز HPGe مورد بررسی، از نوع محوری قائم، طراحی شده توسط شرکت ORTEC (مدل GEM) است. ناخالصی بلور نیم‌رسانای آن از نوع n، با قطر $54/9mm$ و ارتفاع $61/0mm$ می‌باشد. برای کاهش اثرات تابش‌های پس زمینه، یک سیستم حفاظ ویژه با چهار لایه‌ی متفاوت که به ترتیب از داخلی‌ترین به بیرونی‌ترین لایه عبارتند از پیرکس، مس، فولاد و سرب برای آن در نظر گرفته شده است. ولتاژ کار آن 3000 ولت و دمای بهینه‌ی عملکرد آن ۷۷ K است که توسط مخزن هیدروژن مایع متصل به آن تامین می‌شود. در خط انرژی $1332KeV$ (Co-60) بازده نسبی آن ۱۵ درصد و قدرت تفکیک ایده‌آل آن، $1/83 KeV$ است. در ادامه ملاحظه می‌شود که بنا به دلایلی از جمله تشکیل لایه‌ی مرده در سطح آشکارساز و خطای ناشی از سیستم الکترونیکی متصل به آن، قدرت تفکیک (نیم پهنای طیفی) این آشکارساز بزرگتر از مقدار مذکور است [۲-۴].

در این تحقیق برای کالیبره کردن آشکارساز، از چشمه‌های استاندارد ^{137}Cs (۱۲۹KBq)، ^{152}Eu (۲۷۸KBq)، ^{22}Na (۱۰۰KBq) و ^{241}Am (۱۳۲KBq) استفاده شده است. برای جلوگیری از کاهش



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

آهنگ شمارش ناشی از تابش آبخاری خطوط انرژی متفاوت یک رادیویزوتوپ معین [۵و]، رادیویزوتوپ‌های مذکور در فاصله‌ی ۹/۸ cm از سطح آشکارساز قرار گرفتند و طیف‌آنها به مدت ۱۰۰۰ ثانیه (۱۶/۷ دقیقه) به عنوان زمان زنده‌ی^۶ آشکارساز اندازه‌گیری شد. طیف‌های اندازه‌گیری شده پس از تحلیل به وسیله‌ی نرم افزار MCA و SPAN برای بررسی پارامترهای مشخصه‌ی طیف سنجی آشکارساز و همچنین برآورد مینیمم مقدار اکتیویته قابل اندازه‌گیری به کار گرفته شدند. نتایج حاصل در جدول (۱) و شکل‌های (۲و) قابل مشاهده می‌باشند.

یافته‌ها و بحث:

جدول (۱): برآورد بازده قله‌ای و کمینه اکتیویته‌ی قابل اندازه‌گیری توسط

آشکارساز HPGe به ازای انرژی‌های متفاوت

Iso.	E(KeV)	Channel	Count	MDA(Bq)	Efficiency (%)
Am-241	59.32	70	33182	43.79	3.54
Am-241	99.10	119	85	8189.75	19.67
Am-241	103.16	124	72	8189.75	20.48
Eu-152	121.83	147	70431	146.30	10.70
Am-241	125.08	151	27	34157.25	17.77
Eu-152	244.42	298	13773	511.41	8.14
Ba-133	302.87	370	6279	66.62	7.28
Eu-152	344.27	421	31819	187.34	6.16
Ba-133	355.64	435	18029	15.74	6.18
Eu-152	410.84	503	2731	1581.83	5.15
Cs-137	661.70	812	47612	26.11	3.32
Eu-152	779.41	957	6197	396.05	2.84
Eu-152	867.90	1066	2138	1403.33	2.49
Eu-152	964.51	1185	5925	326.61	2.33
Eu-152	1086.28	1335	3640	603.81	2.13
Eu-152	1113.07	1368	4423	340.42	2.10
Eu-152	1213.74	1492	502	2750.69	1.97
Na-22	1275.44	1568	34961	48.40	1.87
Eu-152	1299.79	1598	485	2000.34	1.70
Eu-152	1409.39	1733	5406	96.65	1.72
Eu-152	1458.91	1794	127	2222.99	1.55

در شکل ۱، نمودار قدرت تفکیک طیفی و نسبی آشکارساز HPGe رسم و برازش شده است. W_{α} به دلیل ولتاژ بالا و حجم حساس نه چندان بزرگ آشکارساز، سهم قابل توجهی در FWHM ندارد. نمودار تغییرات نیم‌پهنای ذاتی طیفی (W_D)، طبق رابطه‌ی (۱) با تقریب خوبی از یک چندجمله‌ای مرتبه‌ی دوم پیروی می‌کند. از طرفی نتیجه برازش نمودار FWHM، به رابطه‌ی (۲) منجر می‌شود که بیانگر خطی و افزایشی بودن تغییرات آن نسبت به انرژی است. و نشان می‌دهد سهم ناشی از سیستم الکترونیکی تقویت کننده‌ی تپ خروجی (W_E)، نقش موثرتری نسبت به W_D در

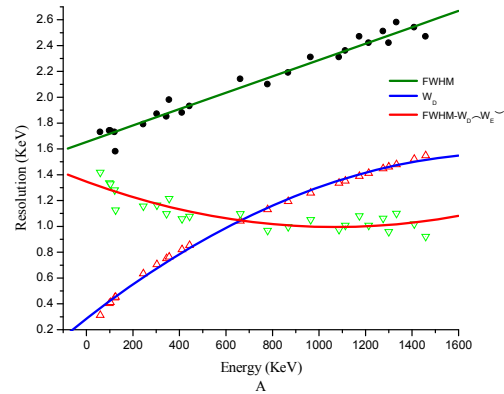
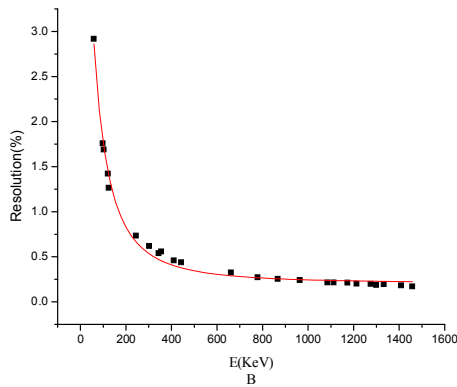
^۶Live-Time



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

بزرگتر بودن FWHM دارد به طوری که در گستره‌ی انرژی‌های کمتر از ۱۶۰۰ KeV، بیش از ۱ KeV و به خصوص در انرژی‌های کمتر از ۱۰۰ KeV، به حدود ۱/۵ می‌رسد



$$(1) \quad W_D(\text{KeV}) = 0.29 + 0.00139X - 3.75 \times 10^{-7}X^2, \quad \begin{cases} R^2 = 0.997 \\ SD = 0.023 \end{cases}$$

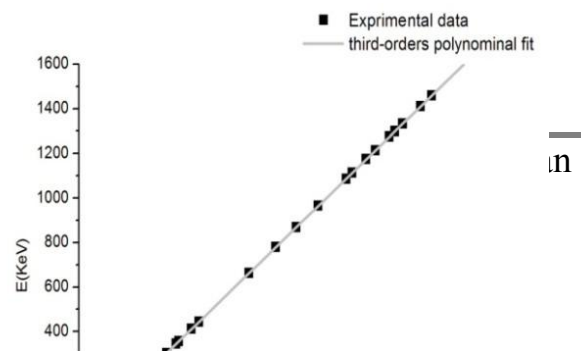
$$(2) \quad \text{FWHM}(\text{KeV}) = 1.65 + (6.33 \times 10^{-4})X, \quad \begin{cases} R = 0.958 \\ SD = 0.055 \end{cases}$$

همچنین داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد منحنی تغییرات انرژی قله‌های طیفی بر حسب کانال‌های شمارشی، با تقریب بسیار خوبی، خطی است که دلالت بر کالیبره بودن آشکارساز دارد (رابطه‌ی ۳ و شکل ۲-الف).

$$(3) \quad E(\text{KeV}) = 2.49 + 0.81X + 1.7 \times 10^{-10}X^2 - 6.27 \times 10^{-14}X^3, \quad \begin{cases} R^2 = 1 \\ SD = 3.184 \times 10^{-4} \end{cases}$$

با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۱، نمی‌توان روند کلی برای تغییرات MDA در نظر گرفت اما به نظر می‌رسد برای درصد بیشتری از خطوط انرژی، تغییرات MDA تابعی از آهنگ شمارش و بازده قله‌ای آشکارساز است که سهم آهنگ شمارش غالب است. به طور تقریبی می‌توان گفت آهنگ شمارش رابطه‌ی عکس با MDA دارد. تغییرات قدرت تفکیک نسبی آشکارساز به صورت $R(\%) = \frac{\Delta E}{E} \times 100$ تعریف می‌شود با تقریب خوبی نسبت به انرژی تابعی لورنتسی است (شکل ۲-ب). رابطه‌ی (۴) فرمول برازش شده از نمودار تجربی را نشان می‌دهد.

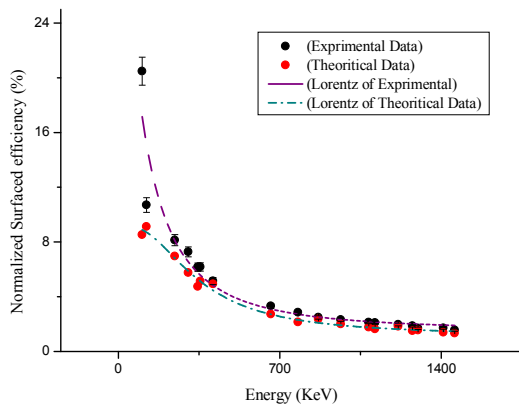
$$(4) \quad R(\%) = 1.4884 + \frac{2 \times 493326.29658}{\pi} \left(\frac{13.84922}{4(x+160.21736)^2 + 191.800946} \right)$$





بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



ب

الف

شکل (۲): الف، منحنی کالیبراسیون ب، منحنی تغییرات بازده قله‌ای (تجربیه و تئوری) نسبت به انرژی در آشکارساز HPGe

شکل ۲-ب، رسم و برازش نمودار تجربی و تئوریک بازده قله‌ای آشکارساز بر حسب انرژی نشان می‌دهد که تطابق خوبی با یکدیگر دارند. این پارامتر در انرژی‌های کمتر از ۴۰۰ KeV، بزرگتر و تغییرات آن نسبت به انرژی بیشتر است اما در انرژی‌های بزرگتر از این مقدار، بازده قله‌ای و تغییرات نسبت به انرژی، کوچکتر است. (به دلیل کاهش سطح مقطع فوتو الکتریک در انرژی‌های بالا). لازم به ذکر است بیشینه بازده قله‌ای آشکارساز نیز مربوط به خط انرژی ۱۰۳/۱۶ KeV می‌باشد. اگر چه به کارگیری مقادیر تئوری به دست آمده برای مساحت زیر قله‌ها (با فرض گوسی بودن قله)، منجر به کاهش نسبتاً محسوسی در مقادیر محاسبه شده در هم‌پایه‌های انرژی می‌شود اما با این حال تغییر چندان محسوسی در روند تغییرات آن نسبت به انرژی ایجاد نمی‌شود.

نتیجه گیری: نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر این است که در گستره‌ی انرژی‌های کمتر از حدود ۴۰۰ KeV، آشکارساز HPGe دارای بیشترین مقادیر بازده‌ی قله‌ای (E) و قدرت تفکیک نسبی (R) است و قدرت تفکیک ذاتی (WD) و FWHM کمترین مقادیر ممکن را دارند. علاوه بر این سهم سیستم الکترونیکی پردازنده‌ی تپ حاصل از آشکارساز در افزایش FWHM که در حدود ۱ KeV است، در گستره انرژی‌های کمتر از ۱۰۰ KeV به حدود ۱/۵ می‌رسد. در انرژی‌های بالاتر روند تغییرات E و R نسبت به انرژی با سرعت نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد و WD و FWHM آشکارساز به ترتیب تا حدود ۱/۵ و ۳ KeV افزایش می‌یابد. از سوی دیگر در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت، هرچه آهنگ شمارش آشکارساز در یک خط طیفی معین از یک رادیوایزوتوپ بیشتر باشد آشکارساز قابلیت اندازه‌گیری مقادیر کمینه‌تری از آن رادیوایزوتوپ را دارد.



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

مراجع

- ۱] G.F. Knoll; "Radiation Detection and Measurement," Third edition, John Wiley & Sons, 1999
- ۲] AN34 Laboratory Manual, "Introduction to theory & Basic Applications Alpha, Beta, Gamma, X-Ray, and Neutron Detectors and Associated Electronics," Third Edition, Published by EG & G ORTEC, 1984
- ۳] "HPGe Detector Manufacturing," ORTEC, URL: <http://www.ortec-online.com>.
- ۴] D. Protić, G. Riepe; "Position-sensitive germanium detectors," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. NS-32, pp. 553-555, Feb. 1985
- ۵] K. Szyman & etal; "Resolution, efficiency and stability of HPGe detector operating in a magnetic field at various gamma-ray energie," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 592, (2008)486-492
- ۶] M. R. Calin, M. A. Calin, L. Done A. E. Druber, A. C. Călin; "The energy and FWHM calibration of a gamma spectrometric system with a HPGe detector on the basic of the background spectrum"; Rom Jour. Of Physics, Vol. 56, No. 7-8, 920, 2011
- ۷] A. Gultekin, G. Kaynak, & O. Gurler; "Determination of full energy peak of HPGe detector from 59.5 to 1332.5 Kev"; Indian Journal of Pure & Applied Physics, Vol. 44, pp. 281-286, April 2006