

## ارزیابی مکان آشکارساز نقطه‌ای مجازی در آشکارساز HPGe تخت برای محدوده

### انرژی ۶۶۱-۱۳ keV با استفاده از چشمه‌های فیلتر کاغذی

یوسف رضایی<sup>۱</sup>، سیدمحمد متولی<sup>۱\*</sup>، محمدرضا زارع<sup>۲</sup> و محمدعلی محمدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه فیزیک هسته‌ای، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، مازندران، ایران.

<sup>۲</sup> گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

\* مازندران، بابلسر، دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک هسته‌ای، کدپستی: ۴۷۴۱۵-۴۱۶

پست الکترونیکی: motavali@umz.ac.ir

#### چکیده

یکی از مهم‌ترین ابزار در طیف‌سنجی اشعه گاما، آشکارساز HPGe می‌باشد. مفهوم آشکارساز نقطه‌ای مجازی برای آشکارساز Ge(Li) مطرح شد. براساس این مفهوم، نقطه‌ای درون آشکارساز ژرمانیومی وجود دارد که می‌تواند به عنوان آشکارساز نقطه‌ای مجازی همه واکنش‌ها را میزبانی کند. اگر واقعاً چنین نقطه‌ای وجود داشته باشد که بتواند همانند زمانی که کل حجم آشکارساز در نظر گرفته می‌شود، پاسخگو باشد، ملاحظات هندسی مورد استفاده در کالیبراسیون آشکارساز بسیار ساده خواهد شد. این ساده‌سازی به‌خصوص در اندازه‌گیری اکتیویته بخش عظیمی از نمونه‌ها با اهمیت است. در این پژوهش، با ساخت چشمه‌های فیلتر کاغذی، به ارزیابی وابستگی مکان آشکارساز نقطه‌ای مجازی برای آشکارساز HPGe تخت در محدوده انرژی فوتون ۶۶۱-۱۳ keV می‌پردازیم.

کلیدواژگان: نقطه مجازی، چشمه فیلتر کاغذی، آشکارساز HPGe

#### ۱. مقدمه

طوری که میزبان همه برهم‌کنش‌های فوتون با ماده باشد [۱]. نقطه مجازی را می‌توان در اندازه‌گیری رادیواکتیویته چشمه‌های نقطه‌ای واقع بر محور تقارن آشکارساز HPGe مشخص نمود [۲]. مفهوم آشکارساز نقطه‌ای مجازی برای نقاط خارج از محور تقارن آشکارساز نیز قابل اجرا است [۳]. البته همه این آزمایش‌ها در حالتی انجام شد که بین چشمه و آشکارساز هوا یا خلأ بود. مفهوم آشکارساز نقطه‌ای مجازی برای حضور محیط جذبی در فاصله بین چشمه و آشکارساز نیز گسترش یافت [۴]. آشکارساز نقطه‌ای مجازی به ابعاد آشکارساز HPGe وابسته می‌باشد [۵]. آشکارساز نقطه‌ای مجازی برای چشمه‌های

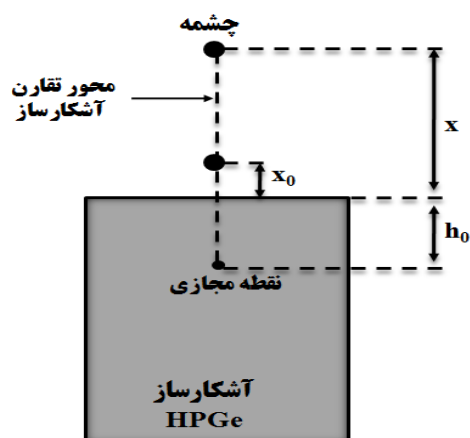
این حقیقت به خوبی شناخته شده است که اگر چه انتشار اشعه گاما از یک چشمه رادیواکتیو همگراست، وابستگی بازده آشکارساز HPGe به فاصله چشمه از سطح آشکارساز از قانون مجذور وارون ساده که براساس نسبت مساحت سطح آشکارساز به مساحت کره‌ای به شعاع  $r$  است پیروی نمی‌کند. انحراف از این قانون به علت این واقعیت است که واکنش‌های فوتون اشعه گاما به سطح آشکارساز محدود نیست و در کل حجم آن رخ می‌دهد. نقطه‌ای درون آشکارساز Ge(Li) است که می‌تواند به عنوان آشکارساز نقطه‌ای مجازی عمل کند، به-

فاصله  $x$  از سطح آشکارساز  $N(x)$  به آهنگ شمارش در نزدیک‌ترین فاصله از سطح آشکارساز  $N(x_0)$  با معادلات زیر بیان می‌شود.

$$\frac{N(x_0)}{N(x)} = \frac{(x+h_0)^2}{(x_0+h_0)^2} \quad (2)$$

$$Y = \sqrt{\frac{N(x_0)}{N(x)}} - 1 = \frac{x-x_0}{x_0+h_0} \quad (3)$$

چنانچه نمودار نقاط تجربی  $Y$  برحسب فاصله  $x-x_0$  مطابق با رابطه ۳ بصورت خطی باشد،  $h_0$  را می‌توان از معکوس شیب خط برازش به دست آورد.



شکل (۱): نمونه‌نمایی از چشمه نقطه‌ای بر روی محور تقارن آشکارساز و نقطه مجازی درون بلور آشکارساز.

### ۳. فرآیند تجربی

برای انجام آزمایش از آشکارساز HPGe تخت استفاده شده است که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول (۱): مشخصات آشکارساز HPGe تخت.

پنجره ورودی	ناحیه فعال ( $\text{cm}^2$ )	ضخامت (cm)	قطر (cm)
برلیوم	۱۵	۱/۵	۴/۴

آشکارساز به یک تحلیل‌گر چند کاناله متصل است و طیف‌ها با استفاده از نرم افزار DAS گرفته می‌شود.

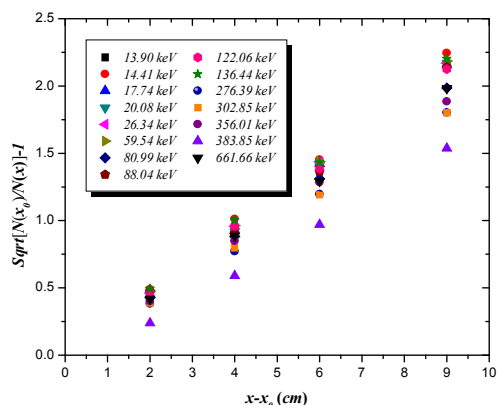
راديوکتیو نقطه‌ای [۷-۶] و دیسکی [۸] مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی بازده آشکارساز HPGe با استفاده از مفهوم آشکارساز نقطه‌ای مجازی برای چشمه‌های نقطه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت [۹]. وابستگی مکان آشکارساز نقطه‌ای مجازی به ابعاد چشمه با استفاده از روش مونت کارلو تعیین شد [۱۰]. مطالعات قبلی نشان داده است که، نقطه مجازی در آشکارساز HPGe تخت، با افزایش انرژی، در انرژی‌های بالای ۵۹keV افزایش می‌یابد و بیرون از بلور آشکارساز قرار می‌گیرد [۶] و همچنین در آشکارسازهای هم‌محور، در انرژی‌های کمتر از ۵۹keV، نقطه مجازی با کاهش همراه است [۱۰]. با توجه به اینکه اکثر فعالیت‌های گذشته در محدوده انرژی بالای ۵۹keV صورت گرفته است، در پژوهش حاضر با ساخت چشمه‌های فیلتر کاغذی که محدوده انرژی ۱۳-۶۶۱keV را پوشش می‌دهند، علاوه بر بررسی فعالیت‌های قبلی، که البته با شبیه‌سازی همراه بوده است، وابستگی مکان آشکارساز نقطه‌ای مجازی برای آشکارساز HPGe تخت، به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت.

### ۲. روش‌شناسی ریاضی

هنگام اندازه‌گیری طیف گاما از یک چشمه راديوکتیو، آهنگ شمارش فوتون  $N(E, x)$  در یک قله تمام-انرژی در یک انرژی خاص  $E$ ، منتشر شده از یک چشمه نقطه‌ای با اکتیویته  $A$  و یک احتمال انتشار فوتون  $f(E)$  که بر روی محور تقارن آشکارساز و در فاصله  $x$  از پنجره آشکارساز واقع است را می‌توان با معادله زیر بیان نمود.

$$N(E, x) = Af(E) \varepsilon(E, x) \quad (1)$$

که  $\varepsilon(E, x)$  نشان‌دهنده بازده آشکارساز است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است [۱۱]، هنگامی که چشمه روی محور تقارن آشکارساز قرار دارد، نسبت آهنگ شمارش در



شکل (۳): نمودار Y بر حسب  $x-x_0$  برای انرژی‌های مختلف.

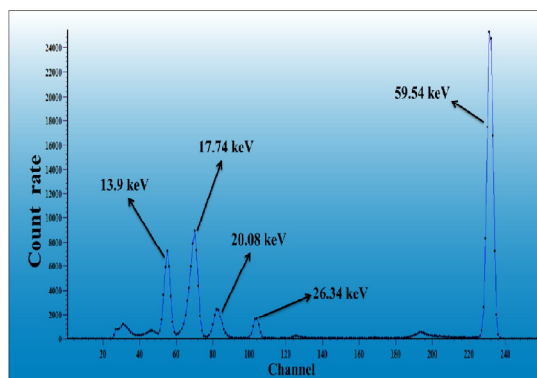
جدول (۲): مقادیر تجربی  $h_0$  بر حسب انرژی.

E (keV)	$h_0$ (cm)
۱۳/۹۰	۲/۱۴۳
۱۴/۴۱	۲/۱۳۰
۱۷/۷۴	۲/۰۹۵
۲۰/۰۸	۲/۰۷۹
۲۶/۳۴	۲/۰۴۳
۵۹/۵۴	۲/۰۲۴
۸۰/۹۹	۲/۵۰۸
۸۸/۰۴	۲/۳۹۴
۱۲۲/۰۶	۲/۶۴۱
۱۳۶/۴۴	۲/۶۷۱
۲۷۶/۳۹	۳/۰۰۶
۳۰۲/۸۵	۳/۰۶۳
۳۵۶/۰۱	۳/۲۴۹
۳۸۳/۸۵	۴/۳۱۸
۶۶۱/۶۶	۴/۴۵۴

در شکل ۴ و ۵ نمودار  $h_0$  بر حسب انرژی رسم شده است. همانطور که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود، مکان آشکارساز نقطه‌ای مجازی برای محدوده انرژی ۱۳-۵۹ keV با افزایش

رادیونوکلئیدهای مورد استفاده جهت طیف‌گیری، شامل  $^{137}\text{Cs}$ ،  $^{109}\text{Cd}$ ،  $^{57}\text{Co}$ ،  $^{133}\text{Ba}$ ،  $^{241}\text{Am}$  می‌باشند.

چشمه‌ها محدوده انرژی ۱۳-۶۶۱ keV را پوشش می‌دهند. این رادیونوکلئیدها با اکتیویته ۱ kBq بطور همگن، روی سطح چشمه‌های فیلتر کاغذی با قطر ۱ cm نشانده می‌شوند. نمونه‌ای از طیف جمع‌آوری شده توسط آشکارساز HPGe تخت از چشمه  $^{241}\text{Am}$ ، در شکل ۲ نشان داده شده است.



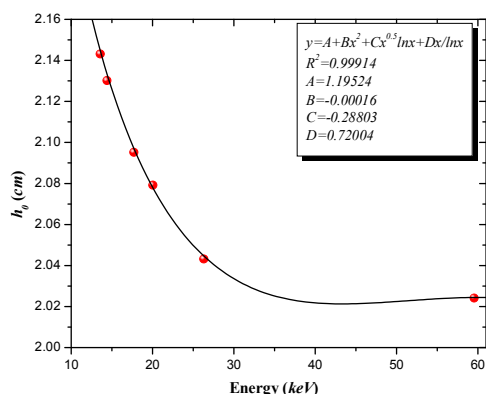
شکل (۲): نمونه طیف حاصل از چشمه  $^{241}\text{Am}$  در مدت زمان ۴۴۴۴/۸۴ ثانیه با آشکارساز HPGe تخت.

سطح زیر قله تمام-انرژی به کمک نرم‌افزار OMNIGAM اندازه‌گیری می‌شود. برای دستیابی به خطای کمتر، زمان شمارش به قدر کافی طولانی در نظر گرفته شد.

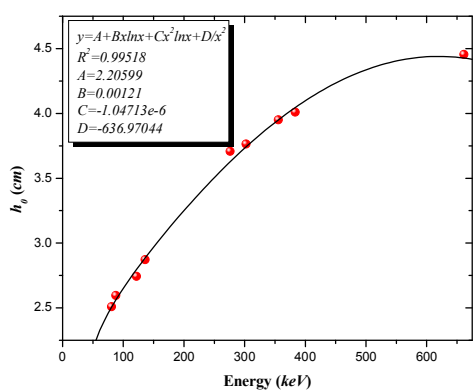
#### ۴. نتایج

بعد از اتمام طیف‌گیری که در فواصل ۱، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ سانتی‌متر از سطح آشکارساز انجام شد، طیف‌ها با استفاده از نرم افزار OMNIGAM تحلیل شدند. با استفاده از اطلاعات بدست آمده، نمودار Y بر حسب  $x-x_0$  برای تمام انرژی‌ها ترسیم شد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود این نمودار برای تمام انرژی‌ها، یک رابطه خطی را نشان می‌دهد.

با محاسبه معکوس شیب این نمودارها، می‌توان  $h_0$  را برای هر انرژی محاسبه نمود. در جدول ۲ مقادیر تجربی  $h_0$  برای انرژی‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل (۴): نمودار  $h_0$  بر حسب انرژی در محدوده ۱۳-۵۹ keV.



شکل (۵): نمودار  $h_0$  بر حسب انرژی در محدوده ۵۹-۶۶۱ keV.

انرژی، کاهش می‌یابد. این رفتار به ضخامت لایه مرده آشکارساز و پنجره آشکارساز نسبت داده می‌شود. این رفتار در محدوده انرژی ۵۹-۶۶۱ keV برعکس می‌باشد. در این محدوده، با افزایش انرژی فوتون، مکان آشکارساز نقطه‌ای مجازی افزایش می‌یابد.

## ۵. نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش مشخص می‌کند، آشکارساز نقطه‌ای مجازی، رفتارهای متفاوتی را برای محدوده انرژی فوتون ۱۳-۵۹ keV و ۵۹-۶۶۱ keV نشان می‌دهد. برای محدوده انرژی ۵۹-۶۶۱ keV،  $h_0$  با افزایش انرژی افزایش می‌یابد و برای انرژی‌های بالاتر یکنواخت می‌شود و برای محدوده انرژی ۱۳-۵۹ keV،  $h_0$  با افزایش انرژی کاهش می‌یابد. ولی قابل توجه می‌باشد که، با توجه به کاهش مکان نقطه مجازی در انرژی‌های پایین‌تر از ۵۹ keV، مکان آن همچنان بیرون از بلور آشکارساز قرار می‌گیرد.

## ۶. مراجع

- [1] A. Nota. The Ge(Li) spectrometer as a point detector. Nuclear Instruments and Methods 91 (1971) 513-515.
- [2] K. Debertin, R. G. Helmer. Gamma -and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detector. Elsevier, New York, pp. 250-251, (1988).
- [3] O. Presler, O. Peled, U. German, Y. Leicher, Z. B. Alfasi. Off-center efficiency of HPGe detector. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 484 (2002) 444-450.
- [4] O. Presler, U. German, O. Pelled, Z. B. Alfasi. The validity of the virtual point detector concept for absorbing media. Applied Radiation and Isotopes 60 (2004) 213-216.
- [5] M. H. Taheri, D. Sardari. Dependence of the virtual point-detector location on HPGe detector dimensions and source energy in 80-1400 keV range. JINST 5 (2010) T05002.
- [6] Z. B. Alfassi, O. Pelled, U. German. The virtual point detector concept for HPGe planar and semi-planar detectors. Applied Radiation and Isotopes 64 (2006) 574-578.
- [7] N. Celik. Determination of the dependence of HPGe virtual point detector location on source dimensions in 80-1400 keV range using Monte Carlo simulation. JINST 7 (2012) P08009.
- [8] Z. B. Alfassi, N. Lavi, O. Presler, V. Pushkarski. HPGe virtual point detector for radioactive disk sources. Applied Radiation and Isotopes 65 (2007) 253-258.
- [9] M. A. Mohammadi, M. R. Abdi, M. Kamali, M. Mostajaboddavati, M. R. Zare. Evaluation of HPGe detector efficiency for point sources using virtual point detector model. Applied Radiation and Isotopes 69 (2011) 521-526.
- [10] N. Celik, U. Cevik, B. Kucukmeroglu. Virtual point detector for HPGe detectors for 26.6-1332 keV photon energies by experiment and Monte Carlo simulation. J. Radioanal. Nucl. Chem. 292 (2012) 1229-1235.
- [11] O. Presler, U. German, V. Pushkarsky, Z. B. Alfasi. Virtual point detector: On the interpolation and extrapolation of scintillation detectors counting efficiencies. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A 565 (2006) 704-710.