

تخمین بازده آشکارساز HPGe به کمک چشمه های دیسکی و بر اساس مدل آشکارساز نقطه ای مجازی

محمدعلی محمدی^{۱*}، محمدرضا عبدی^۱، حسین بیگ پور^۲، نیما معلمی^۳

^۱دانشگاه اصفهان، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته ای

^۲دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک حالت جامد

^۳دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مکانیک

چکیده

پیش از این مفهوم تبدیل حجم آشکارساز به یک نقطه معادل مجازی به منظور تسهیل در تخمین بازده برای موقعیت های مختلف چشمه های نقطه ای، پیشنهاد شده بود. در این کار اعتبار مدل آشکارساز نقطه ای مجازی در تخمین بازده آشکارساز HPGe برای چشمه های دیسکی استاندارد در فواصل مختلف چشمه تا آشکارساز بررسی و تایید شد. بازده های محاسبه شده به این روش دارای توافق خوبی با نتایج تجربی بوده به گونه ای که خطای نسبی در بیشترین حالت کمتر از ۵٪ است.

کلید واژه- آشکارساز HPGe، کالیبراسیون بازده، مدل آشکارساز نقطه ای مجازی، چشمه های دیسکی استاندارد

مقدمه

یکی از پارامترهای مهم در آشکارساز HPGe بازدهی است که به شدت به هندسه و عوامل جذبی بستگی دارد چنانکه با تغییر پیکربندی در هندسه نمونه- آشکارساز، نیاز به مقیاس بندی مجدد بازده آشکارساز است. بی شک دقیق ترین راه برای تعیین بازده آشکارساز، اندازه گیری تجربی و استفاده از چشمه های استاندارد مخصوص برای هر پیکربندی نمونه است این روش مشکل خسته کننده و در عین حال زمانبر است. بنابراین پیدا کردن یک روش ریاضی برای تخمین بازده آشکارساز در زمان کم و با دقت خوب جهت تعیین اکتیویته نمونه های حجمی ارزشمند است. مفهوم آشکارساز نقطه ای مجازی- نقطه ای که گویی تمام حجم آشکارساز در آن متمرکز شده است و میزبان تمام برهمکنش های فوتون با ماده است- اولین بار توسط Notea در سال ۱۹۷۱ برای آشکارسازهای Ge(Li) معرفی و تأیید شد [۱]. کارهای جدید بیشتری برای چشمه های خارج از محور [۲]، محیط های جاذب [۳]، آشکارسازهای صفحه ای و نیم صفحه ای [۴] و آشکارسازهای سوسوزن [۵] انجام شده است. باید تأکید شود که این مدل تنها یک ساده سازی ریاضی است و آشکارساز نقطه ای مفهوم فیزیکی ندارد. در این کار ما به دنبال تایید و به کار گیری مدل فوق در تخمین بازده آشکارساز HPGe در مسافت های مختلف چشمه سطحی- آشکارساز هستیم.

روش شناسی ریاضی

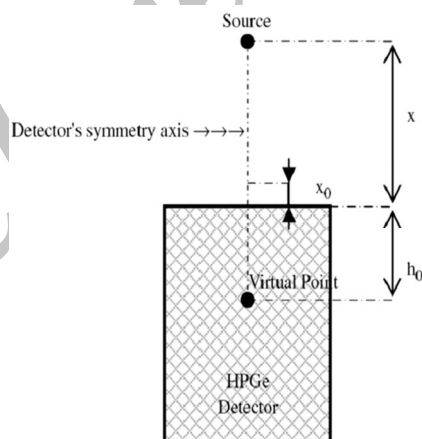
بر اساس مدل آشکارساز نقطه‌ای مجازی رابطه‌ی میان بازده آشکارساز برای چشمه نقطه‌ای روی محور تقارن آشکارساز، در دوفاصله x_0 و x مطابق با شکل ۱ برابر است با [۱]

$$\frac{\mathcal{E}(x_0)}{\mathcal{E}(x)} = \frac{C(x_0)}{C(x)} = \frac{(x + h_0)^2}{(x_0 + h_0)^2} \quad (1)$$

بازنویسی رابطه شماره ۱ منجر به رابطه زیر می‌شود:

$$Y = \sqrt{\frac{C(x_0)}{C(x)}} - 1 = \frac{x - x_0}{h_0 + x_0} \quad (2)$$

که در آنها $\mathcal{E}(x_i)$ بازده آشکارساز برای چشمه نقطه‌ای در فاصله x_i از سطح آشکارساز، $C(x_i)$ آهنگ شمارش در فاصله x_i و h_0 عمق نقطه مجازی از سطح آشکارساز است. در حقیقت در این مدل بازده متناسب با عکس مجذور فاصله شعاعی چشمه تا نقطه مجازی است. باید توجه داشت که این رابطه برای حالتی است که فضای میان چشمه تا آشکارساز را خلا یا هوا پر کرده است در غیر اینصورت باید تضعیف فوتون در ماده جاذب را نیز در نظر گرفت.



شکل شماره ۱: نمایی از چشمه نقطه‌ای قرارگرفته بر روی محور تقارن آشکارساز و نقطه مجازی درون بلور.

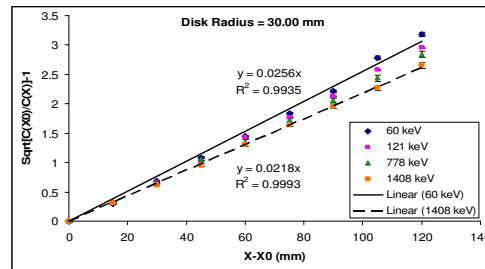
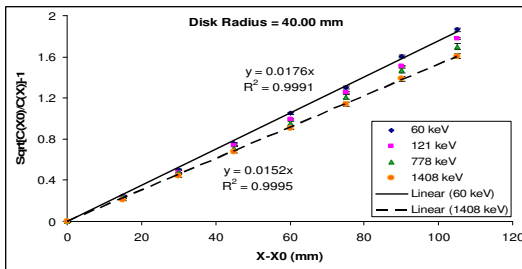
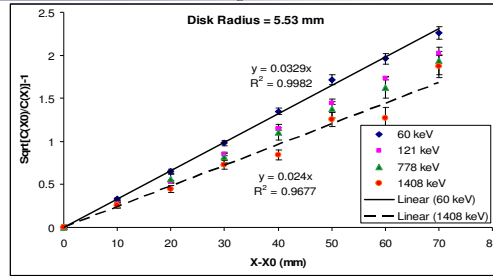
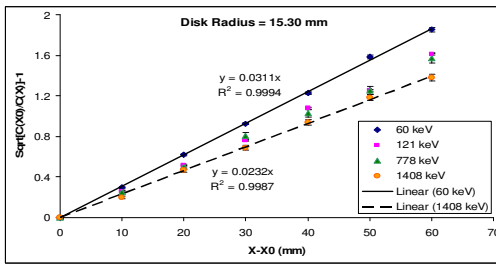
چنانچه نمودار نقاط تجربی $Y = [C(x_0)/C(x)]^{1/2} - 1$ بر حسب فاصله $x - x_0$ مطابق با رابطه ۲ خطی باشد اعتبار این مدل در برآورد بازده تایید می‌شود. فاصله نقاط مجازی از سطح آشکارساز، h_0 نیز از عکس شیب خط برازش بر داده‌های تجربی به دست می‌آید. در این تحقیق نخست به دنبال تایید مدل نیمه تجربی بالا در تخمین بازده آشکارساز HPGe در جابجایی‌های عمودی چشمه دیسکی هم‌محور با آشکارساز و در نهایت تخمین بازده در فاصله‌ای اختیاری به کمک رابطه ۱ هستیم.

برپایی تجربی

برای انجام آزمایش‌ها از یک آشکارساز استوانه‌ای HPGe نوع n استفاده شد. آشکارساز فوق از طریق یک سیستم تقویت‌کننده الکتریکی به یک تحلیل‌گر چند کاناله متصل است. چشمه‌های دیسکی در قطرهای مختلف ۱، ۲، ۳، ۴، ۶ و ۸ سانتیمتری و بر اساس استاندارد ASTM از چشمه‌های پودری ^{152}Eu و ^{241}Am که بازه انرژی ۱۴۰۸-۶۰ keV را با تعداد قله انرژی‌های فراوان پوشش می‌دهند، ساخته شد. تلاش زیادی صورت گرفت که ضخامت تمامی قرص‌ها بین ۲ تا ۳ میلی‌متر باقی بماند. در هنگام استفاده از چشمه‌های با اکتیویته بالا، اثرات زمان مرده و جمع هم‌فرودی در فواصل نزدیک چشمه تا آشکارساز ممکن است مشکلاتی را ایجاد کند. بنابراین نزدیک‌ترین فاصله‌ای که منجر به زمان مرده‌ی معقول (کمتر از ۰.۸٪) شود را به عنوان فاصله مرجع h_0 در نظر می‌گیریم. زمان شمارش را به اندازه‌ای افزایش می‌دهیم تا خطای کمتر از ۱٪ برای آهنگ شمارش به دست آید. سطح زیر قله‌های تمام انرژی به کمک نرم‌افزار Maestro اندازه‌گیری شد. زمینه در غیاب چشمه اندازه‌گیری و برای هر آزمایش کسر گردید.

نتایج و مباحث

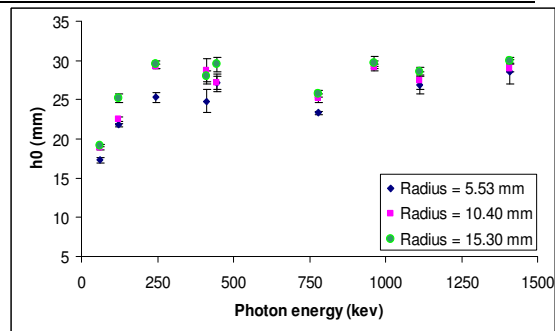
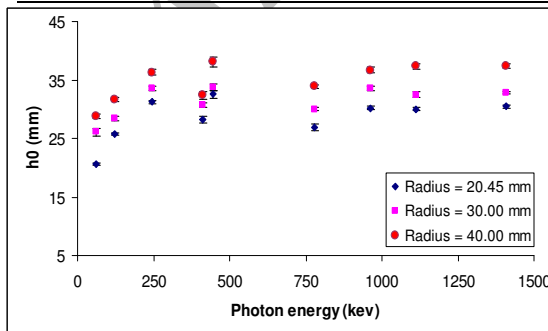
شکل شماره ۲ نمودارهای نقاط تجربی Y برحسب فاصله در شعاع‌ها و انرژی‌های مختلف چشمه‌های دیسکی را نشان می‌دهد. آنچه مشاهده می‌شود توافق بسیار خوب نتایج تجربی با رابطه شماره ۲ است. نقاط Y در شعاع‌های مختلف چشمه‌های دیسکی و در تمام انرژی‌ها، برحسب فاصله روندی خطی دارند. خطی بودن این نقاط به منزله تایید مدل آشکارساز نقطه‌ای مجازی در ارزیابی بازده آشکارسازهای HPGe برای چشمه‌های دیسکی در ابعاد مختلف است. بنابراین زمانی که یک چشمه دیسکی با شعاع معین در فاصله‌ای اختیاری از سطح آشکارساز HPGe قرار گیرد حجم فعال بلور در محاسبه بازده، به یک نقطه مجازی معادل کاهش می‌یابد. جدول ۱ شامل فاصله نقاط مجازی از سطح بلور در انرژی‌های مختلف چشمه‌های دیسکی با شعاع‌های مذکور است. شکل شماره ۳ بستگی مقادیر h_0 به انرژی را برای چشمه‌های دیسکی با قطرهای مختلف نشان می‌دهد. دقت در مقادیر اندازه‌گیری شده جدول ۱ مشخص می‌سازد که برای هر شعاع مشخص از چشمه‌های دیسکی، مقادیر h_0 با افزایش انرژی تا رسیدن به یک مقدار مجانبی افزایش می‌یابند. اما نکته قابل مشاهده دیگر این است که در هر انرژی مشخص، مقادیر h_0 با افزایش شعاع دیسک به صورت خطی افزایش می‌یابند. شکل شماره ۴ بستگی مقادیر h_0 به شعاع دیسک‌ها را در انرژی‌های مختلف گاما و شکل شماره ۵ تغییر مقادیر h_0 را برحسب انرژی و شعاع چشمه‌های دیسکی نشان می‌دهد.



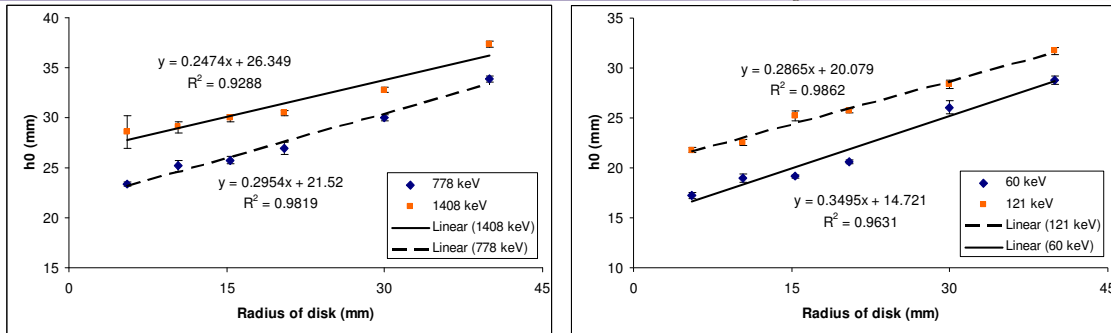
شکل شماره ۲: نمودار رابطه شماره ۱، Y بر حسب فاصله $x-x_0$ برای چشمه های دیسکی با قطرهای مختلف.

جدول شماره ۱: مقادیر h_0 برای انرژی های مختلف چشمه های دیسکی با قطرهای مختلف.

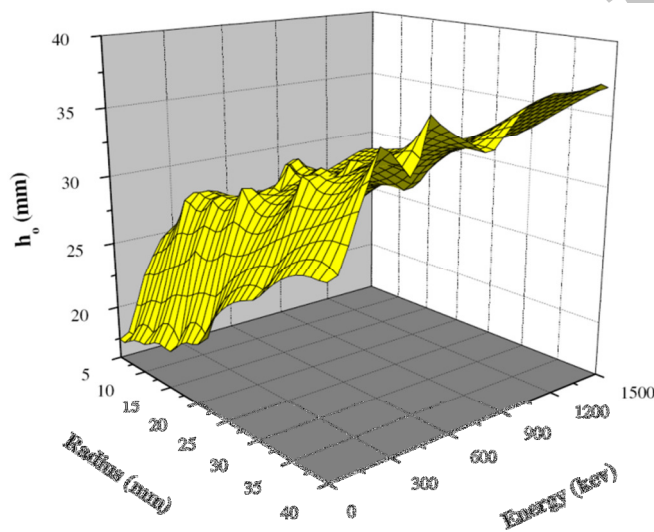
انرژی (KeV)	قطر دیسکها (mm)					
	۱۱/۰۶	۲۲/۸۰	۳۰/۶۰	۴۰/۹۰	۶۰/۰۰	۸۰/۰۰
۶۰	۱۷/۲۷	۱۸/۹۴	۱۹/۱۵	۲۰/۶۲	۲۶/۰۵	۲۸/۸۱
۱۲۲	۲۱/۷۹	۲۲/۵۶	۲۵/۱۹	۲۵/۷۲	۲۸/۳۹	۳۱/۷۰
۲۴۵	۲۵/۳۰	۲۹/۲۳	۲۹/۴۷	۳۱/۲۰	۳۳/۵۳	۳۶/۳۲
۴۱۱	۲۴/۸۲	۲۸/۶۳	۲۸/۰۱	۲۸/۱۷	۳۰/۷۳	۳۲/۴۳
۴۴۴	۲۷/۱۱	۲۷/۱۱	۲۹/۴۷	۳۲/۵۳	۳۳/۸۱	۳۸/۱۱
۷۷۸	۲۳/۳۶	۲۵/۱۶	۲۵/۷۵	۲۶/۹۰	۳۰/۰۱	۳۳/۸۹
۹۶۴	۲۹/۷۴	۲۹/۱۲	۲۹/۶۱	۳۰/۱۶	۳۳/۵۹	۳۶/۷۰
۱۱۱۲	۲۶/۸۲	۲۷/۴۷	۲۸/۶۱	۳۰/۰۳	۳۲/۴۹	۳۷/۳۳
۱۴۰۸	۲۸/۵۶	۲۹/۰۴	۲۹/۹۶	۳۰/۴۷	۳۲/۸۰	۳۷/۳۸



شکل شماره ۳: بستگی مقادیر h_0 به انرژی برای چشمه های دیسکی با قطرهای مختلف.

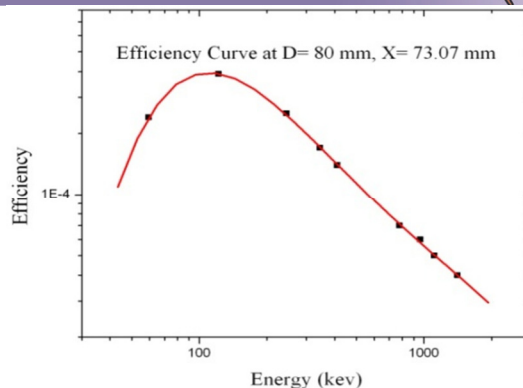


شکل شماره ۴: بستگی خطی مقادیر h_0 به شعاع چشمه های دیسکی در انرژی های مختلف.



شکل شماره ۵: تغییر مقادیر h_0 بر حسب انرژی و شعاع چشمه های دیسکی.

در گام بعدی با استفاده از منحنی کالیبراسیون بازده آشکارساز (برای چشمه ی دیسکی) بر حسب انرژی در فاصله مشخص ۷۳/۰۷ mm (شکل شماره ۶) و همچنین رابطه ۱، بازده آشکارساز در بیشترین فاصله قابل دسترس یعنی ۱۳۳/۰۷ mm برای چشمه دیسکی با قطر ۸۰ mm محاسبه می شود. نتایج مربوط به مقایسه بازده های به دست آمده از روش تجربی و نیمه تجربی (مدل آشکارساز نقطه ای مجازی) و همچنین خطای نسبی دو مقدار در انرژی های مختلف چشمه ی دیسکی در جدول شماره ۲ آمده است.



شکل ۶: منحنی کالیبراسیون بازده برای چشمه دیسکی با قطر ۸۰ mm و در فاصله ۷۳/۰۷ mm از سطح آشکارساز.

جدول ۲: مقایسه مقادیر بازده آشکارساز با دو روش تجربی و نیمه تجربی در فاصله ۱۳۳/۰۷ mm

انرژی (keV)	بازده نیمه تجربی ($\times 10^{-4}$)	بازده تجربی ($\times 10^{-4}$)	خطای نسبی (%)
۶۰	۹/۶۴۹۹۳	۹/۲۰۸۴۷	۴/۷۴
۱۲۲	۱۵/۷۷۵۷	۱۵/۲۴۵۰	۳/۴۶
۲۴۵	۱۰/۲۹۴۵	۹/۸۴۸۲۸	۴/۴۱
۳۴۴	۷/۰۱۵۸۷	۶/۹۲۶۵۴	۱/۲۸
۴۱۱	۵/۷۱۷۵۶	۵/۶۵۱۶۳	۲/۱۶
۷۷۸	۲/۹۵۵۱۴	۲/۹۰۵۷۲	۲/۰۲
۹۶۴	۲/۳۲۵۹۶	۲/۳۰۳۴۷	۱/۲۳
۱۱۱۲	۲/۲۰۹۷۲	۲/۱۰۷۳۴	۴/۵۵
۱۴۰۸	۱/۶۷۳۸	۱/۶۵۷۰۹	۱/۳۵

نتیجه گیری

همانگونه که از نتایج به دست آمده از روش نیمه تجربی (جدول ۲) پیداست مدل آشکارساز نقطه‌ای مجازی مدلی بسیار توانمند در تخمین بازده آشکارسازهای HPGe برای چشمه‌های دیسکی و در فواصل مختلف چشمه-آشکارساز است. بنابر آنچه دیده می‌شود خطای نسبی در بیشترین حالت کمتر از ۵٪ است. در حقیقت با اندازه‌گیری مقادیر h_0 (کالیبراسیون h_0 بر حسب انرژی) و تنها یکبار کالیبراسیون بازده، می‌توان بازده آشکارساز را برای مسافت‌های مختلف چشمه-آشکارساز و به کمک رابطه ۱ تعیین کرد.

مراجع

- [1] A. Norea; "The Ge(Li) spectrometer as a point detector"; Nuclear Instruments and Methods A 91, 513, (1971).
- [2] O. Presler, O. Peled, U. German, Y. Leichter and Z. B. Alfassi; "Off-center efficiency of HPGe detectors"; Nuclear Instruments and Methods A 484, No. 1-3, 444, (2002).
- [3] O. Presler, U. German, O. Pelled & Z. B. Alfassi; "The validity of the virtual point detector concept for absorbing media"; Applied Radiation and Isotopes 60, 213, (2004).
- [4] Z. B. Alfassi, O. Pelled & U. German; "The virtual point detector concept for HPGe planar and semi-planar detectors"; Applied Radiation and Isotopes 64, 574, (2006).
- [5] O. Presler, U. German, V. Pushkarsky & Z. B. Alfassi; "virtual point detector: On the interpolation and extrapolation of scintillation detectors counting efficiencies"; Nuclear Instruments and Methods A 565, 704, (2006).