

بررسی تاثیر موازی‌ساز سربی بر قدرت تفکیک آشکارساز ^{238}Pu یدور سدیم با استفاده از دو چشمه یکسان

داریوش رضائی اوچبلاغ^۱

دانشگاه محقق اردبیلی دانشکده علوم گروه فیزیک

چکیده

در این تحقیق برای بهینه سازی قدرت تفکیک انرژی از یک موازی ساز و دو چشمه گامای همسان و تقریباً با قدرت یکسان بطور همزمان استفاده شده است. برای بدست آوردن نتایج تئوری و محاسبات مونت کارلو از کد MCNP4C و برای بدست آوردن نتایج تجربی از چشمه‌های ^{137}Cs و آشکارساز یدور سدیم ^{238}Pu استفاده شده است. نتایج تئوری نشان می‌دهد برای یک قطر معین موازی‌ساز هرچه فاصله چشمه تا آشکارساز بیشتر باشد ضخامت موازی ساز نیز باید افزایش یابد. در این تحقیق بر اساس همخوانی نتایج تئوری و تجربی، برای موازی‌ساز به قطر ۳mm، ضخامت موازی ساز سربی را ۲cm بدست آوردیم.

کلید واژه‌ها:

آشکارساز یدور سدیم، موازی‌ساز، کد، قدرت تفکیک، گاما

۱- مقدمه

فوتونهای گاما که انرژی آنها بین ۱۰KeV و ۱۰MeV است، انرژی خود را بواسطه یکی از برهمکنشهای فوتوالکتریک، کامپتون و تولید زوج در آشکارساز ذخیره میکنند. پدیده کامپتون اغلب برای فوتونهای که دارای انرژی متوسط بوده و در محیطی با عدد اتمی پائین بر همکنش میکنند، روی میدهد [۱]. یکی از روشهای تصحیح پراکندگی چند گانه کامپتون، استفاده از موازی‌سازها (کلیماتور)^۲ است. موازی سازها امروزه نقش مهمی در زمینه های مختلف از جمله کاربرد دوربینهای گاما در بهینه سازی تصویر و تعیین غنای اورانیوم دارند [۲ و ۳].

^۱ - Corresponding author. Tel: +98 451 5514703; fax: +98 451 5514701
E-mail address: ddrezaev@yahoo.com (Dariush. Rezaei Ochbelagh)

^۲ Collimator

از آنجا که $FWHM^1$ (ضخامت در نیم پهنا) در طیف سنجی گاما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، لذا بایستی این کمیت کوچکتر یا عبارتی ضخامت قله‌های طیف انرژی باریکتر باشد [۴]. بنابراین باریک بودن $FWHM$ نشانه بالای بودن دقت اندازه‌گیری آشکار ساز است. اما این پارامتر اولاً این پارامتر به انرژی فوتون بستگی دارد. بطوریکه وایدنرمن و دیگران رابطه آنرا با انرژی بصورت

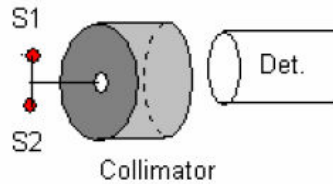
$$FWHM = 2.6132 * E^{0.4414}$$

بدست آورده‌اند [۵]. ثانیاً با استفاده از موازی ساز میتوان این پارامتر را بهینه کرد. ماده موازی ساز و مخصوصاً قطر روزنه آن در $FWHM$ طیف گاما تاثیر بسیار دارد. خود موازی‌ساز بعنوان جاذب عمل میکند و مناسبترین جاذب برای تابش گاما تا $1/4 MeV$ ، سرب به ضخامت $20 mm$ میباشد. بررسی اندازه موازی ساز و ضخامت جاذب بطور همزمان میتواند نقش موثری در تصحیح پاسخ آشکارساز داشته باشد [۶ و ۷ و ۸]. چنانکه اشاره شد اثر موازی‌ساز به روش تحلیلی و عددی بررسی شده است. اما در روش بکار گرفته شده در این تحقیق از دو چشمه گامای همسان و تقریباً با قدرت یکسان بطور همزمان استفاده شده است. برای بدست آوردن نتایج تئوری و محاسبات مونت کارلو از کد MCNP4C و برای بدست آوردن نتایج تجربی از چشمه‌های ^{137}Cs و آشکارساز یدور سدیم $2'' \times 2''$ استفاده شده است.

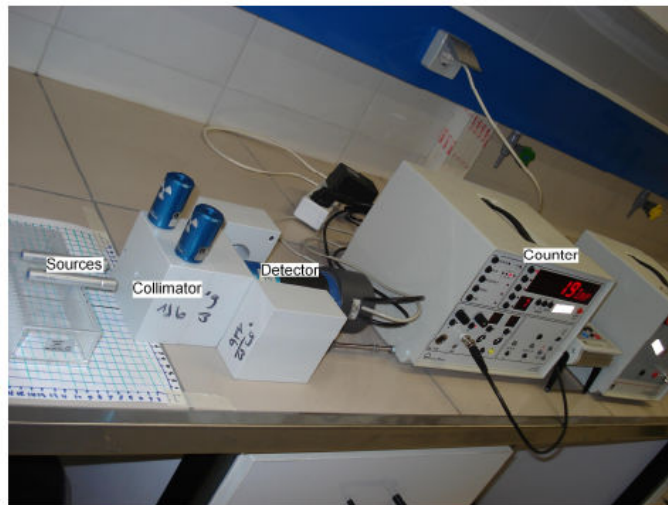
۲- روش تحقیق

مطابق شکل ۱ دو چشمه همسان ^{137}Cs و با قدرت تقریباً یکسان $5 \mu Ci$ را در مقابل آشکار ساز $2'' \times 2''$ یدور سدیم که با یک موازی ساز سربی پوشیده شده قرار داده‌ایم. با شمارش تعداد متوسط فوتونهای رسیده به آشکارساز تاثیر ضخامت موازی ساز، قطر روزنه موازی ساز و فاصله چشمه با آشکارساز را بررسی کرده‌ایم. نتایج تئوری را با استفاده از محاسبات مونت کارلو و کد MCNP4C بدست آورده‌ایم. برای بدست آوردن نتایج تجربی از صفحات نیم سانتیمتری سرب با قطر روزنه $0.15 cm$ بعنوان موازی ساز استفاده کرده‌ایم. مجموعه وسایل آزمایش را مطابق شکل ۲ چیده و فوتونها را شمارش کرده‌ایم. برای بررسی بهتر نتایج از پارامتر جدید کنتراست استفاده کرده‌ایم [۶]. کنتراست عبارت است از: $C = \frac{N - N_0}{N_0} \times 100$. در این رابطه N_0 شمارش مینیمم فوتونهای گاما و N شمارش در هر نقطه است.

¹ -Full-Width at Half-Maximum



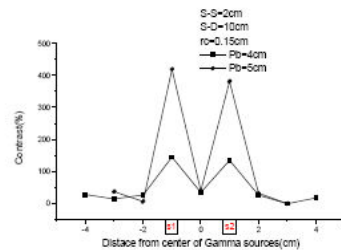
شکل ۱- شبیه سازی مونت کارلو که برای ورودی کد MCNP طراحی شده است.



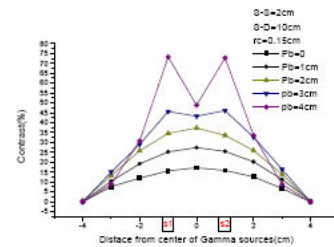
شکل ۲: مجموعه آزمایشگاهی استفاده شده در ایت تحقیق

۳- محاسبات مونت کارلو

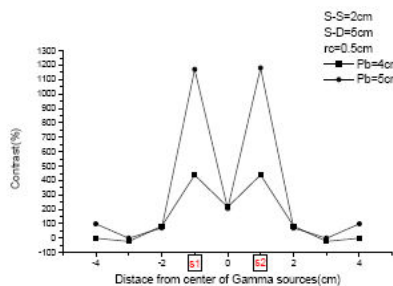
ردیابی فوتونهای و در نظر گرفتن احتمال برهمکنش آن با محیط هرچند کار دشواری است اما بکمک کد محاسباتی MCNP4C شدنی است. براساس نیاز این تحقیق، فایل ورودی کد مذکور در این تحقیق مطابق شکل ۱ شبیه سازی و ساخته شد. برای این منظور دو چشمه همسان ^{137}Cs با قدرت یکسان در نظر گرفته شد. در محاسبات تئوری دو موازی ساز سریبی با شعاعهای 0.15cm و 0.5cm بکار گرفته شده است. ضخامت سرب را با کامهای 1cm افزایش داده و کنتراست را بدست آوردیم. شکلهای ۳ تا ۶ نتایج تئوری نشان میدهند. در این شکلها: S-D فاصله مرکز دو چشمه از آشکارساز، S-S فاصله دو چشمه از هم، 1cm شعاع روزنه موازی ساز، Pb ضخامت سرب است.



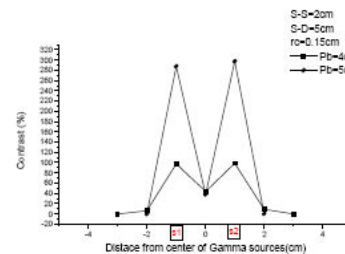
شکل ۲: خروجی کد MCNP برای ضخامت‌های ۴ و ۵ سانتیمتری سرب (فاصله چشمه و آشکارساز ۱۰ سانتیمتر)



شکل ۳: خروجی کد MCNP برای ضخامت‌های متفاوت سربی (فاصله چشمه و آشکارساز ۱۰ سانتیمتر)



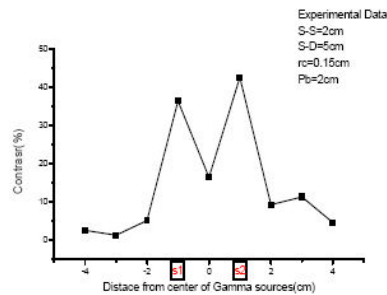
شکل ۴: خروجی کد MCNP برای ضخامت‌های متفاوت سربی (فاصله چشمه و آشکارساز ۵ سانتیمتر و rc=0.5cm)



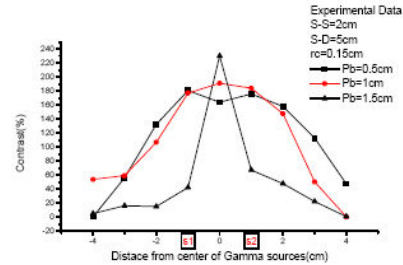
شکل ۵: خروجی کد MCNP برای ضخامت‌های متفاوت سربی (فاصله چشمه و آشکارساز ۵ سانتیمتر)

۴- کارهای تجربی

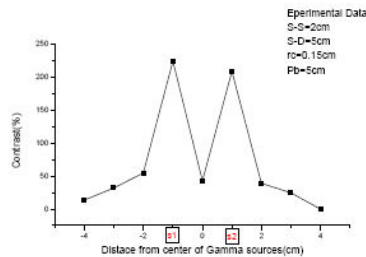
در این تحقیق تلاش شده است چیدمان آزمایشگاهی مطابق مدل شبیه سازی شده باشد. چشمه های استفاده شده در آزمایشها از نوع ^{137}Cs با قدرت حدود $0.5\mu\text{Ci}$ بود. میدانیم این چشمه یک نوع گاما با انرژی 0.662MeV گسیل میکند [۹]. آشکارساز استفاده شده از نوع یدور سدیم به ابعاد $3'' \times 2''$ بود. صفحات سربی با ضخامت‌های نیم سانتی که روزنه هائی به قطر 0.15 mm در آنها ایجاد شده بود بعنوان موازی ساز (کلیماتور) مورد استفاده قرار گرفتند. داده های تجربی بدست آمده بصورت منحنی‌هایی در شکل‌های ۷ تا ۱۰ رسم شده است. چنانکه در شکل ۷ مشاهده میشود، وقتی که فاصله آشکارساز و چشمه ها (S-D) ۵cm است، آشکار ساز قدرت تفکیک دو چشمه از هم را ندارد. اما وقتی که ضخامت سرب به ۲cm میرسد چشمه ها به راحتی قابل تفکیک هستند (شکل‌های ۸ و ۹). بدین ترتیب تا زمانی که ضخامت سرب $1/5\text{ cm}$ است، شدت عبور فوتونها از رابطه $I = I_0 B(t, E_\gamma) e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)t}$ تبعیت میکند. که در آن I_0 شدت اولیه، I شدت فوتونهای عبور کرده، B ضریب بیلد آپ، t ضخامت، $\frac{\mu}{\rho}$ ضریب کاهش جرمی، ρ چگالی و E_γ انرژی گاما است [۱۰]. شکل ۸ نشان میدهد هرچه فاصله بیشتر باشد ضخامت سرب بکار رفته نیز باید افزایش یابد.



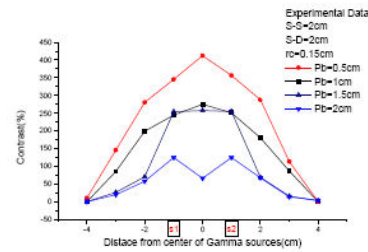
شکل ۸: نتایج تجربی برای ضخامت‌های متفاوت سربی (فاصله چشمه و آشکارساز ۵ سانتیمتر)



شکل ۷: نتایج تجربی برای ضخامت‌های متفاوت سربی (فاصله چشمه و آشکارساز ۵ سانتیمتر و $rc=0.15\text{cm}$)



شکل ۱۰: نتایج تجربی برای ضخامت‌های متفاوت سربی (فاصله چشمه و آشکارساز ۵ سانتیمتر و $Pb=5\text{cm}$)



شکل ۹: نتایج تجربی برای ضخامت‌های متفاوت سربی (فاصله چشمه و آشکارساز ۲ سانتیمتر)

۵- نتیجه

یکی از روش‌های موثر برای افزایش قدرت تفکیک انرژی در آشکارسازهای پدور سدیم استفاده از موازی سازها است. عوامل متعددی در بهینه سازی این کمیّت میتوانند نقش داشته باشند که میتوان از جمله به فاصله چشمه تا آشکارساز، جنس موازی ساز، ضخامت موازی ساز، قطر روزنه موازی ساز و انرژی گاما اشاره کرد. برای یک قطر معین هرچه فاصله چشمه تا آشکار ساز بیشتر باشد ضخامت موازی ساز نیز افزایش می‌یابد. در این تحقیق بر اساس همخوانی نتایج تئوری و تجربی، برای قطر ۳mm ضخامت موازی ساز سربی را ۲cm بدست آوردیم.



- [1]- Manpreet Singh, Gurvinderjit Singh, B.S. Sandhu, Bhajan Singh, *Effect of detector collimator and sample thickness on 0.662MeV multiply Compton-scattered gamma rays*, Applied Radiation and Isotopes 64 (2006) 373–378
- [2]- Patricia Mortreau, Reinhard Berndt, *Attenuation of a non-parallel beam of gamma radiation by thick shielding—application to the determination of the ^{235}U enrichment with NaI detectors* Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 550 (2005) 675–690
- [3]- J.vanderMarel, B. Cederwall, *Collimator less imaging of gamma rays with help of gamma-ray tracking* Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A471(2001)276–280
- [۴]- نیکلاس سولفانادیس - ترجمه دکتر کوهی و دکتر هادی‌زاده - اندازه‌گیری و آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای - انتشارات کتابستان مشهد
- [6]- Wanno Lee, Gyuseong Cho, *Pinhole collimator design for nuclear survey system*, Annals of Nuclear Energy 29 (2002) 2029–2040
- [7]- N. Giokarisa, b, G. Loudosa, D. Maintasa, A. Karabarounisa, V. Spanoudakia, E. Stiliarisa, S. Boukisa, A. Gektinc, A. Boyarintsevc, *Crystal and collimator optimization studies of a high-resolution g-camera based on a position sensitive photomultiplier* Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 527 (2004) 134–139
- [8]- Gurdeep S. Sidhu, Karamjit Singh, Parjit S. Singh, Gurnel S. Mudahar, *Effect of collimator size and absorber thickness on gamma ray attenuation measurements*, Radiation Physics and Chemistry 56 (1999) 535-537
- [9]- M. E. HOSSEINI-ASHRAFI, *Quantitative Consideration of Collimator Parameters in Radio-isotope Imaging and its Application to Collimator Optimization*, Appl. Radiat. Isot. Vol. 49, No. 8, pp. 939-954, 1998
- [10]- Chang-Min Lee, Yoon Hee Lee, Kun Jai Lee, *Cracking effect on gamma-ray shielding performance in concrete structure*, Progress in Nuclear Energy 49 (2007) 303e312