



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۶ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

طیف سنجی گاما در حضور نوترون های سریع

صالح اشرفی؛ ایران حسن زاده؛ داود علیزاده

دانشگاه تبریز، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

چکیده:

در برخی از کاربردهای صنعتی رادیوایزوتوپ‌ها، نظیر رطوبت سنجی و دانسیتمتری، چشمه‌های نوترون و گاما در کنار هم و در یک وسیله بکار گرفته می‌شوند. در این پژوهش از یک آشکارساز $NaI (3" \times 3")$ برای مطالعه آثار تداخل نوترون‌های سریع در طیف فوتون‌های استفاده شده است. چشمه مورد استفاده در آزمایش از دو چشمه نقطه‌ای، $^{137}Cs(10 mCi)$ و $AmBe(50mCi)$ تشکیل شده است. آثار تداخلی از طریق اندازه‌گیری و شبیه سازی مونت کارلو تعیین و با هم مقایسه شده اند. پیک های انرژی فوتون های گاما حاصل از برهم کنش غیر الاستیک نوترون های سریع با مواد سازنده آشکار ساز به خوبی در طیف گامای سوسوزن نمایان است. این موضوع امکان آشکارسازی نوترون های سریع را با سوسوزن NaI فراهم می نماید.

کلید واژه: طیف سنجی گاما، چشمه نوترونی، توموگرافی، شبیه سازی مونت کارلو، کد $MCNPX$

مقدمه

در برخی از کاربردهای صنعتی رادیوایزوتوپ‌ها، نظیر رطوبت سنجی و دانسیتمتری، چشمه‌های نوترون و گاما در کنار هم و در یک وسیله بکار گرفته می‌شوند. بنابراین طیف سنجی گاما و آشکارسازین و ترون‌ها هر دو می‌توانند متأثر از حضور چشم هدیگر شود. نوترون‌ها از طریق واکنش (n,n) با مواد محیط و تولید اشعه گاما یا ایکس روی طیف اصلی آشکارساز گاما تأثیر می‌گذارند و اشعه گاما نیز مسقیماً ولی با راندمان کمی توسط آشکار ساز گاما آشکار خواهد شد. رندی جونز و همکارانش (۲۰۱۱) آثار نوترون‌ها را بر یک آشکارساز اشعه گاما NaI بررسی کردند. طبق نتایج آنان نوترون‌ها با مواد آشکارساز NaI و یا مواد مجاور برهم کنش داشته و خطوط انرژی جدیدی به طیف آزمایش اضافه می‌کنند. نمونه‌هایی از این خطوط طیفی در انرژی های $57 keV$ و $202 keV$ ناشی از پس زنی هسته ^{127}I و $847 keV$ ناشی از برهم کنش نوترون با استیل به عنوان یکی از مواد حفاظ هستند [۱].

در تحقیقاتی که در زمینه توموگرافی صنعتی با استفاده از آشکارساز NaI و فوتون‌های $662 keV$ صورت گرفته است چشمه گامای $^{137}Cs (10 mCi)$ و چشمه نوترون $AmBe (50 mCi)$ بکار برده شده که به لحاظ فنی غیر قابل تفکیک بودند [۲-۴]. این تحقیق به منظور برآورد سهم اشعه گامای ثانویه نوترون‌های سریع در طیف گامای آشکار شده توسط سوسوزن $NaI (3" \times 3")$ انجام شده است. اندرکنش نوترون‌های سریع با عناصر تشکیل دهنده آشکارساز

'Randy Jones



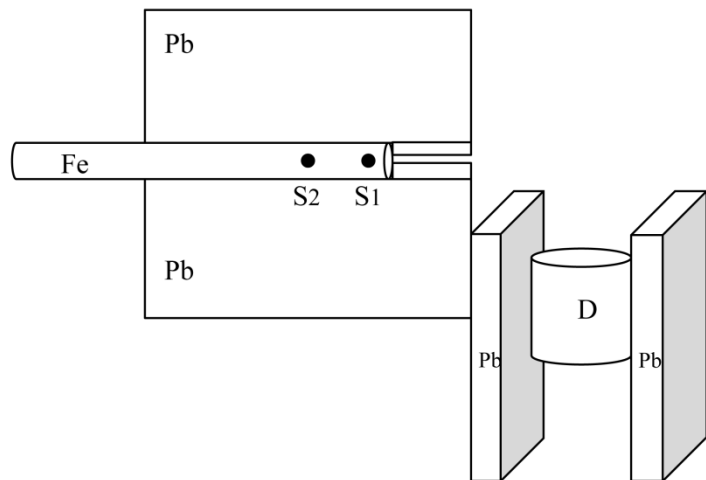
بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ و انشگاه اصفهان

نظیر سدیم، ید، آهن و سرب اطراف آن مد نظر قرار گرفته است. طیف گامای ثبت شده توسط سوسوزن از طریق اندازه گیری و شبیه سازی مونت کارلو بوسیله کد MCNPX بدست آمده و سپس باهم مقایسه شده اند [۵]. نتایج این تحقیق نشان می دهد که برخورد نوترون ها به مواد آشکارساز و حفاظ استیل، تولید اشعه گاما با انرژی های ۵۸ keV، ۴۴۰ keV و ۸۵۰ keV می نماید که آثار آنها باید در طیف گامای مربوط به توموگرافی در نظر گرفته شود. همچنین با توجه به این که تنها منشا گامای ۵۸ keV و ۴۴۰ keV به ترتیب واکنش های $^{127}\text{I}(n, n')$ و $^{23}\text{Na}(n, n')$ می باشند، مشاهده پیک گامای ۵۸ keV و ۴۴۰ keV نشانه واضحی بر حضور نوترون های سریع در محیط تلقی خواهد شد.

روش کار

در کاربرد توموگرافی صنعتی یک آشکارساز ($3" \times 3"$) NaI تحت زاویه ۹۰ درجه نسبت به امتداد فوتون های گاما قرار می گیرد. چشمه مورد استفاده در آزمایش از دو چشمه نقطه ای، $^{137}\text{Cs}(10\text{mCi})$ و $\text{AmBe}(50\text{mCi})$ تشکیل شده است. این چشمه در یک استوانه از جنس استیل با قطر ۲ cm و طول ۱۰ cm قرار دارد. چشمه ^{137}Cs منبع تولید گاما با انرژی ۶۶۲ keV است. چشمه AmBe با نیمه عمر ۴۳۲/۷ سال منبع تولید نوترون های سریع می باشد که همزمان فوتون های گاما با انرژی ۴۳۸ MeV/۴ را نیز تولید می کند [۶ و ۷]. اندرکنش نوترون های سریع چشمه AmBe با مواد آشکارساز و مواد حفاظ پیرامون آن اشعه گامای ثانویه تولید می نماید. سایر اجزای موجود در چیدمان آزمایش شامل موازی ساز (سرب)، حفاظ های سربی و پوشش های استیل حول چشمه و آشکارساز می باشد. چیدمان آزمایش بصورت شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- چیدمان آزمایش توموگرافی گاما (^{137}Cs , S1; AmBe, S2; NaI(Tl) ($3" \times 3"$), D)



بیت ویکمن کنفرانس هفتم ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

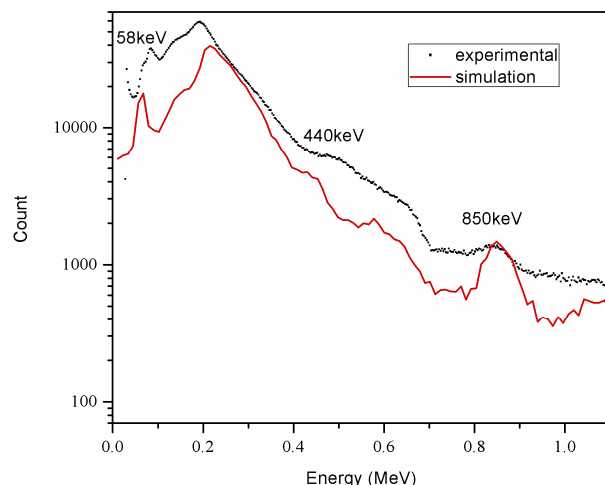
برای تشخیص آثار و سهم هریک از تابشها در طیف اندازه گیری شده، اندرکنش فوتونها و نوترونها با اجزای آشکارساز و سایر مواد، با استفاده از کد MCNPX، شبیه سازی شد. در برنامه شبیه سازی اندرکنش نوترونها با هر یک از عناصر تشکیل دهنده به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفت. در نتیجه با اطمینان بیشتری می توان گفت که پیکهای مشاهده شده در طیف، ناشی از کدام عنصر می باشد. در برنامه شبیه سازی، نسبت نوترونها و فوتونها گامای گسیل شده باید در نظر گرفته شود. این نسبتها در جدول (۱) ارائه شده اند.

جدول ۱- نسبت پرتوهای تابشی [۶ و ۷]

نسبت	تابش
۵	نوترون
۲/۸۷۵	گامای ۴/۴۳۸ MeV
۱	گامای ۶۶۲ keV

نتایج

طیف گامای دو چشمه نوترون و گاما توسط یک آشکارساز سوسوزن NaI در مدت زمان ۳۰ دقیقه به طور همزمان اندازه گیری شد. این طیف بوسیله تحلیلگر ۱۰۲۴ کاناله ثبت گردید. شکل (۲) طیف تجربی را همراه با طیف شبیه سازی شده نشان می دهد.



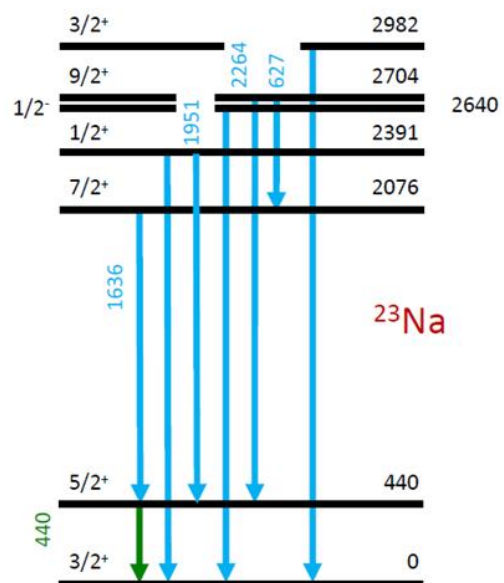


بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ و دانشگاه اصفهان

شکل ۲- مقایسه طیف انرژی گامای اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده ^{137}Cs و AmBe

پیک ۵۸ keV ناشی از برهم‌کنش غیر الاستیک $^{127}\text{I}(n, n')^{127}\text{I}$ [۸] می‌باشد. پیک ۴۴۰ keV ناشی از برهم‌کنش غیر الاستیک $^{23}\text{Na}(n, n')^{23}\text{Na}$ می‌باشد که نمودار واپاشی آن به عنوان مثال در شکل (۳) نشان داده شده است [۹ و ۱۰]. پیک ۸۵۰ keV نیز ناشی از برهم‌کنش نوترون با ^{56}Fe به صورت $^{56}\text{Fe}(n, n')^{56}\text{Fe}$ است [۱۱]. عدم تطابق بین دو طیف در ناحیه انرژی‌های کمتر از ۲۰۰ keV مربوط به تولید اشعه ایکس ثانویه از محیط آزمایشگاه است. برای صرفه‌جویی در زمان محاسبات از وارد نمودن مواد و هندسه لوازم آزمایشگاه در برنامه شبیه‌سازی صرف نظر نموده‌ایم. همچنین آثار مربوط به پهن شدن آماری پیک‌ها در انرژی ۸۵۰ keV بطور دقیق در محاسبات مونت کارلو در نظر گرفته نشده است.



شکل ۳- نمودار واپاشی ^{23}Na در اندرکنش $^{23}\text{Na}(n, n')^{23}\text{Na}$

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه آشکارساز در زاویه ۹۰ درجه نسبت به باریکه فوتونی قرار گرفته است، فوتون‌های گاما مستقیماً به آشکارساز نمی‌رسند. بنابراین آثار مربوط به چشمه ^{137}Cs در طیف گاما ظاهر نمی‌شود. طیف اندازه‌گیری شده صرفاً مربوط به اندرکنش نوترون‌ها است. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است اثر نوترون‌ها در طیف گامای آشکارساز NaI محسوس می‌باشد. این آثار باید در طیف سنجی گاما مد نظر قرار گرفته و تصحیحات لازم روی طیف انجام شود. این نتایج با نتایج مرجع [۱۲ و ۱] در توافق می‌باشد. هر چند در این کار از چشمه AmBe استفاده شده و لیکن نتایج بدست آمده برای انرژی‌های ۵۸ keV و ۴۴۰ keV در سایر چشمه‌های نوترونی نیز



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

معتبر می‌باشد. در کاربردهای توموگرافی با اشعه گاما می‌توان با استفاده از نتایج بدست آمده تصویرهای توموگرافی را اصلاح نمود. علاوه بر آن با توجه به پیک‌های مشخص 58keV و 44.0keV مربوط به واکنش‌های نوترون می‌توان در صورت عدم دسترسی به آشکارسازهای نوترونی نظیر سوسوزن پلاستیک یا BF_3 با استفاده از آشکارساز یدورسديم به آشکارسازی نوترون‌های سریع نیز پرداخت.

مراجع

- [1] Randy Jones., Richard Chiffelle, George Berzins, Calvin Moss, and Larry Karch, "Neutron Effectson Radioisotope Identifiers (RIIDs)", Applied Research Associates, Inc. Albuquerque, NM, USA. DTRA/NTD, Ft Belvoir, VA, USA., (2011).
- [2] S. Ashrafi, O. Jahanbakhsh, D. Alizadeh, "Application of Artificial Neural Network in Non-Destructive Compton Scattering Densitometry", Nucl. Instr. & Meth A, 760:1-4, (2014).
- [3] [Saleh Ashrafi](#), [Okhtay Jahanbakhsh](#), Davood Alizadeh, [Behrooz Salehpour](#), "[A novel method for non-destructive Compton scatter imaging based on the genetic algorithm](#)", [Central European Journal of Physics](#), 11(5), (2013).
- [4] O. Jahanbakhsh, S. Ashrafi, B. Salehpour, R. Bodaghi Hossein Abadi, N. Khaiiatali, "Industrial scattering densitometry using a mCi gamma-ray source", *Nucl. Instr. & Meth A*, 726:47-51, (2013).**



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

- [5] Denise B. Pelowitz (Ed.), MCNPX User's Manual, 2.6.0, LA-CP-07-1473, Los Alamos National Security, LLC, April 2008.
- [6] Ali Asghar Mowlavi, Rahim Koochi-Fayegh, "Determination of 4.438MeV Gamma-Ray To Neutron Emission Ratio from a ^{241}Am - ^9Be Neutron Source", Applied Radiation and Isotopes 60, pp. 959-962, (2004).
- [7] Zhenzhou Liu, Jinxiang Chen, Pei Zhu, Yongming Li, Guohui Zhang, "The 4.438MeV Gamma to Neutron Ratio for the Am-Be Neutron Source", Applied Radiation and Isotopes 65, pp. 1318-1321, (2007).
- [8] A. Hashizume, "Adopted Levels Gammas For ^{127}I ", www.nndc.bnl.gov/nudat2/getdataset.jsp?nucleus=¹²⁷I, (2011).
- [9] A. Hashizume, "Adopted Levels Gammas For ^{23}Na ", www.nndc.bnl.gov/nudat2/getdataset.jsp?nucleus=²³Na (2011).
- [10] C. Rouki, S. Kopecky, N. Nankov, A. J. M. Plompen* and M. Stanoiu, "Neutron Inelastic Cross Section Measurements for Sodium", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 59, No. 2, pp. 1660 -1664, August 2011.
- [11] A. Hashizume, "Adopted levels, Gammas for ^{56}Fe ", www.nndc.bnl.gov/nudat2/getdataset.jsp?nucleus=⁵⁶Fe, (2011).
- [12] Tetsuo INADA, "Detection of Fast Neutrons with NaI (TI) Crystal", Journal of Nuclear Science and Technology, 5:6, pp. 287-291, June 1968.