



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

اندازه گیری سطح مقطع فوتونوترون واکنش های $^{89}\text{Y}(\gamma, xn, x=1-4)$ با استفاده از تابش برمشترا الونگ با بیشینه انرژی ۵۵ و ۴۵ MeV

منصوره تاتاری^{۱*}، گوپی نیون کیم^۲

^۱دانشگاه هیزد، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

^۲دانشگاه ملی کیانگ پوک، دانشکده فیزیک، آزمایشگاه فیزیک انرژی‌های بالا

چکیده:

سطح مقطع واکنش های $^{89}\text{Y}(\gamma, xn, x=1-4)$ به روش فعال سازی و طیف سنجی غیر برخط پرتو گاما با استفاده از تابش برمشترا الونگ با بیشینه انرژی ۵۵ و ۴۵ MeV تولید شده از شتابدهنده خطی الکترون در آزمایشگاه شتابدهنده پوهانگ کشور کره جنوبی اندازه گیری شده است. هم چنین سطح مقطع این واکنش ها با استفاده از کد TALYS 1.4 محاسبه شده و با نتایج حاصل از آزمایش توافق خوبی دارد. نتایج نشان می دهند که سطح مقطع این واکنش ها از انرژی آستانه تا مقداری که کانال های دیگر واکنش باز می شود، افزایش می یابند. با افزایش بیشتر انرژی سطح مقطع تقریباً ثابت بوده و پس از آن کاهش می یابد که این به دلیل افزایش سطح مقطع کانال های دیگر واکنش است.

کلید واژه:

تابش برمشترا الونگ؛ سطح مقطع فوتونوترون؛ واکنش $^{89}\text{Y}(\gamma, xn)$ ؛ شتابدهنده خطی الکترون؛ کد TALYS

مقدمه:

در مطالعه مکانیسم واکنش های هسته ای و ساختار و خواص هسته مرکب ایجاد شده داشتن اطلاعاتی در مورد سطح مقطع واکنش دارای اهمیت زیادی است. به ویژه واکنش هایی که توسط فوتون و نوترون انجام می شود به دلیل کاربرد آن ها در حفاظ سازی؛ محاسبه دز جذب شده در بدن انسان در طول رادیوتراپی؛ آنالیز فعال سازی نوترونی؛ ساخت راکتورها و غیره مورد توجه هستند [۱]. رادیوایزوتوپ ^{86}Y به دلیل اینکه گسیلنده پوزیترون است در توموگرافی گسیل پوزیترون (PET) کاربرد دارد [۲]. سطح مقطع واکنش های (γ, n) و $(\gamma, 2n)$ از انرژی آستانه تا MeV ۲۹ به وسیله فوتون های تک انرژی اندازه گیری شده است [۳-۶]. این ناحیه انرژی تشدید بزرگ دوقطبی (GDR) نامیده می شود ولی در ناحیه انرژی ۳۰-۱۵۰ MeV مطالعات زیادی انجام نشده است که یکی از دلایل آن کمبود چشمه فوتون پر شدت در این ناحیه انرژی است. سطح مقطع واکنش (γ, n) با استفاده از تابش برمشترا الونگ با بیشینه انرژی ۳۲ MeV توسط اوراموف و همکاران اندازه گیری شده است ولی در انرژی های بالاتر اطلاعاتی وجود ندارد [۷]. در این مقاله سطح مقطع فوتونوترون واکنش $^{89}\text{Y}(\gamma, xn, x=1-4)$ با استفاده از تابش برمشترا الونگ با بیشینه انرژی ۵۵ و ۴۵ MeV به روش فعال سازی و اسپکترومتری غیر برخط گاما به وسیله شتابدهنده خطی



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

الکترون 100 MeV در شهر پوهانگ کشور کره جنوبی اندازه گیری شده است. طیف برمشترالونگ تولید شده به وسیله کد MCNPX به دست آمده است. سطح مقطع این واکنش ها برای فوتون های تک انرژی به صورت تئوری با استفاده از کد TALYS 1.4 محاسبه شده و با نتایج حاصل از آزمایش مقایسه می شود.

روش کار:

الکترون ها با انرژی 45 MeV و 55 MeV که با استفاده از شتاب دهنده خطی الکترون پوهانگ تولید شده اند، بر یک قطعه تنگستن به ابعاد $10 \times 10\text{ cm}^2$ و ضخامت 0.1 mm فرود می آیند و فوتون های برمشترالونگ تولید می کنند. تنگستن در فاصله 18 cm از پنجره خروجی و عمود بر جهت باریکه الکترون قرار دارد. نمونه ها به مدت 30 دقیقه با فوتون های برمشترالونگ با انرژی بیشینه 45 MeV و پرتو دهی می شوند. نمونه ها در هوا و در فاصله 12 cm از ورقه تنگستن و عمود بر باریکه الکترون قرار گرفته اند. در طول پرتو دهی نمونه ها، شتاب دهنده خطی الکترونی تیپ- هایی با فرکانس 15 Hz و پهنای $1/6\text{ }\mu\text{s}$ تولید می کند و شدت جریان الکترون ها 45 mA است. نمونه ها شامل ^{89}Y با خلوص 99.9% و ضخامت 0.127 mm و جرم 39.7 mg تولید شده از شرکت AlfaAesar هستند که در ورقه آلومینیوم پیچیده شده و واکنش $^{27}\text{Al}(\gamma, 2\text{pn})^{24}\text{Na}$ به عنوان دیده بان برای اندازه گیری شار فوتون در واکنش- های $^{89}\text{Y}(\gamma, \text{xn}, \text{x}=1-4)$ به کار می رود. فعالیت نمونه های فعال شده با استفاده از آشکارساز محوری ژرمانیوم با خلوص بالا ساخت شرکت ORTEC اندازه گیری شده است. قطر و طول کریستال آن به ترتیب برابر با $60/5$ و 31 mm و از نوع p می باشد. قدرت تفکیک سیستم آشکارسازی دارای پهنایی در نصف بیشینه (FWHM) برابر با $1/8\text{ keV}$ در قله $1332/5\text{ keV}$ از ^{60}Co است. از چشمه استاندارد ^{152}Eu برای مدرج کردن انرژی و بازده آشکارساز استفاده می شود که دارای پرتو های گاما در گستره انرژی $140.8-121/8\text{ keV}$ است. بازده آشکارساز در قله $1332/5\text{ keV}$ برابر با 20% بازده آشکارساز NaI(Tl) با طول $7/62\text{ cm}$ و قطر $7/62\text{ cm}$ است. در طول شمارش زمان مرده سیستم آشکارسازی کمتر از 10% است. مساحت قله اصلی با استفاده از برنامه کامپیوتری Gamma Vision تولید شرکت ORTEC تعیین می شود. طیف پرتوی گامای نمونه فعال شده با تابش برمشترالونگ با بیشینه انرژی 55 MeV در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل انرژی های پرتو گاما محصولات مختلف واکنش مانند $^{85\text{m}}\text{gY}$ ، $^{86\text{m}}\text{gY}$ ، $^{87\text{m}}\text{gY}$ ، ^{88}Y و ^{24}Na خوبی دیده می شود. برای واکنش های $^{89}\text{Y}(\gamma, \text{xn}, \text{x}=1-4)$ از فعالیت خط گامای $1368/6\text{ keV}$ ناشی از ^{24}Na که از واکنش $^{27}\text{Al}(\gamma, 2\text{pn})^{24}\text{Na}$ تولید شده استفاده می شود. فعالیت این خطوط گاما با توجه به رابطه [۸]

$$(1) A_{net}(t_c/LT) = \frac{N \langle \sigma \rangle \phi I_{\gamma} \varepsilon (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_w} (1 - e^{-\lambda t_c})}{\lambda}$$

به شار فوتون ϕ مربوط هستند که N تعداد اتم های هدف آلومینیوم (دیده بان) و $\langle \sigma \rangle$ سطح مقطع فعال سازی متوسط برای واکنش $^{27}\text{Al}(\gamma, 2\text{pn})^{24}\text{Na}$ است که به ترتیب برابر با $0.045 \pm 0.004\text{ mb}$ و $0.092 \pm 0.008\text{ mb}$ برای



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

فوتون‌های برمسترالونگ با بیشینه انرژی ۴۵ و ۵۵ MeV است [۹]، ϕ شار تابش ترمزی، I_γ شدت پرتوهای گاما، ϵ بازده آشکارسازی، λ ثابت واپاشی برای ایزوتوپ مورد نظر، t_i ، t_w و t_c به ترتیب زمان پرتودهی، زمان خنک‌سازی و زمان شمارش هستند. در رابطه بالا ضریب t/LT (LT زمان زنده آشکارساز است) برای تصحیح زمان مرده است [۱۰]. هسته‌های رادیواکتیو تولید شده از واکنش‌های $^{89}\text{Y}(\gamma, xn)$ ، $x=1-4$ دارای حالات ایزومری m و g با نیمه-عمرهای متفاوت و پرتوهای گاما با انرژی‌های مختلف هستند. اطلاعات لازم برای محصولات این واکنش از [۱۱] و [۱۲] گرفته شده است و در جدول ۱ نشان داده شده است. سطح مقطع واکنش‌های $^{89}\text{Y}(\gamma, n)$ ، $^{89}\text{Y}(\gamma, 2n)$ و $^{89}\text{Y}(\gamma, 3n)$ و $^{89}\text{Y}(\gamma, 4n)$ با استفاده از رابطه

$$\sigma = \frac{A_{net} \left(\frac{t_c}{LT}\right) \lambda}{N \phi I_\gamma \epsilon (1 - e^{-\lambda t_i}) e^{-\lambda t_w} (1 - e^{-\lambda t_c})} \quad (2)$$

محاسبه می‌شود که N تعداد اتم‌های نمونه ^{89}Y و ϕ شار فوتون است که محاسبه آن در بالا توضیح داده شد و A_{net} فعالیت خطوط گامای محصولات واکنش است [۱۰]. سطح مقطع واکنش‌ها را با استفاده از کد TALYS نیز می‌توان محاسبه کرد ولی در این کد سطح مقطع واکنش فوتون‌ترونی برای فوتون‌های تک انرژی محاسبه می‌شود در حالی که فوتون‌های برمسترالونگ دارای طیف پیوسته‌ای از انرژی هستند بنابراین سطح مقطع متوسط واکنش‌های فوتون‌ترونی را توسط این کد به دست می‌آوریم. در شکل ۲ طیف فوتون‌های برمسترالونگ با بیشینه انرژی ۴۵ و ۵۵ MeV نشان داده شده است.

نتایج:

سطح مقطع واکنش‌های $^{89}\text{Y}(\gamma, xn)$ ، $x=1-4$ به دست آمده از این آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است. خطاهای این آزمایش ناشی از خطاهای آماری و اندازه‌گیری است. خطای آماری ناشی از شمارش است که در حدود ۵-۱۰٪ است. خطای اندازه‌گیری وابسته به زمان تابش؛ بازده آشکارسازی؛ شار فوتون؛ نیمه‌عمر هسته مورد نظر و فراوانی پرتو گاما است. خطای اندازه‌گیری ۶-۱۱٪ به دست می‌آید و خطای کل ناشی از خطای آماری و اندازه‌گیری ۸-۱۵٪ به دست می‌آید. در این آزمایش به دلیل استفاده از فوتون‌های برمسترالونگ که طیف پیوسته‌ای دارند سطح مقطع واکنش‌های $^{89}\text{Y}(\gamma, xn)$ ، $x=1-4$ با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\langle \sigma \rangle = \frac{\int_{E_{th}}^{E_{\gamma max}} \sigma(E) \phi(E) dE}{\int_{E_{th}}^{E_{\gamma max}} \phi(E) dE} \quad (3)$$

که مقدار $\sigma(E)$ با استفاده از کد TALYS 1.4 به دست می‌آید. سطح مقطع متوسط از انرژی آستانه تا انرژی بیشینه فوتون‌های برمسترالونگ محاسبه می‌شود. از جدول ۲ دیده می‌شود که سطح مقطع متوسط محاسبه شده برای واکنش‌های $^{89}\text{Y}(\gamma, n)$ و $^{89}\text{Y}(\gamma, 2n)$ در توافق خوبی با نتایج آزمایش است. برای واکنش‌های $^{89}\text{Y}(\gamma, 3n)$ و $^{89}\text{Y}(\gamma, 4n)$ نتایج دیگری وجود ندارد. در شکل ۳ نتایج این آزمایش و نتایج

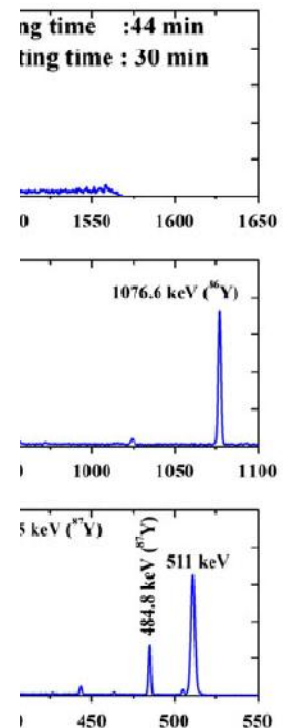


بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

جدول ۱. داده‌های مربوط به واکنش‌های هسته‌ای $^{89}\text{Y}(\gamma, xn, x=1-4)$ [۱۱ و ۱۲]

واکنش هسته‌ای	نیمه عمر	انرژی (keV)	شدت %
$^{89}\text{Y}(\gamma, n)^{88}\text{Y}$	106.65 days	898.042	93.7
		1836.063	99.2
$^{89}\text{Y}(\gamma, 2n)^{87m}\text{Y}$	13.37 h	380.79	78
$^{89}\text{Y}(\gamma, 2n)^{87g}\text{Y}$	79.8 h	388.53	82
		484.8	89.7
$^{89}\text{Y}(\gamma, 3n)^{86m}\text{Y}$	48 min	208.1	94
$^{89}\text{Y}(\gamma, 3n)^{86g}\text{Y}$	14.74 h	627.72	32.6
		777.35	22.4
		1076.64	83
		1153.01	30.5
$^{89}\text{Y}(\gamma, 4n)^{85m}\text{Y}$	4.86 h	231.67	22.8
$^{89}\text{Y}(\gamma, 4n)^{85g}\text{Y}$	2.68 h	231.67	84
		504.45	60
$^{27}\text{Al}(\gamma, 2pn)^{24}\text{Na}$	14.95 h	1368.633	100



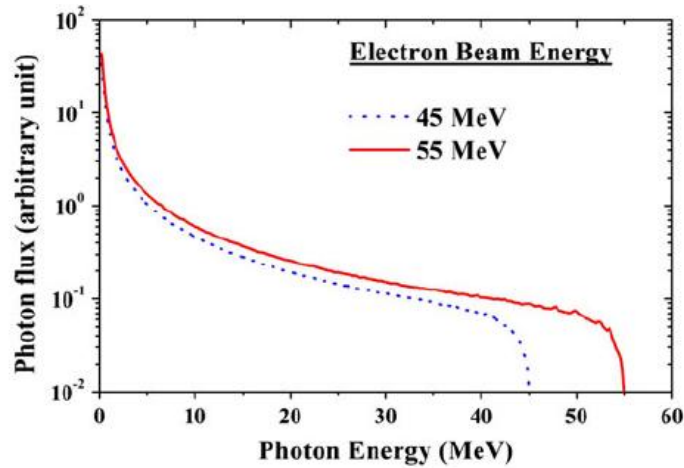
شکل ۱. نمونه‌ای از طیف پرتو گامای $^{89}\text{Y}+^{27}\text{Al}$ پرتودهی شده با تابش برمشترالونگ با بیشینه انرژی ۵۵ MeV حاصل از آزمایش‌های دیگران و نتایج به دست آمده از کد TALYS نشان داده شده است. از این شکل دیده می‌شود که سطح مقطع واکنش‌های $^{89}\text{Y}(\gamma, xn, x=1-4)$ از انرژی آستانه تا مقدار خاصی که کانال واکنش بعدی باز



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

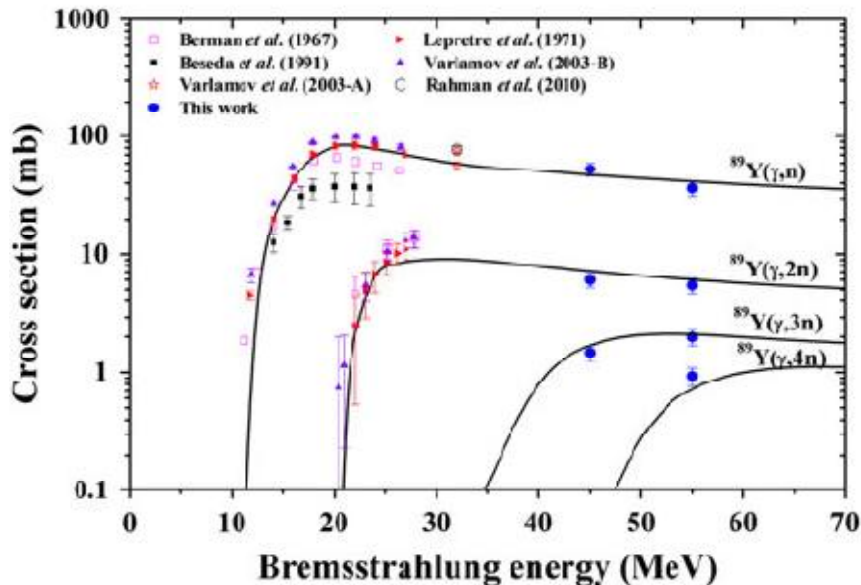
می‌شود افزایش می‌یابد پس از آن ثابت می‌ماند زیرا سطح مقطع کانال بعدی افزایش می‌یابد و پس از آن به دلیل باز شدن کانال‌های دیگر کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده نقش انرژی برانگیختگی در واکنش است.



شکل ۲. طیف تابش برمشترالونگ به دست آمده از کد MCNPX

جدول ۲. سطح مقطع واکنش‌های $^{89}\text{Y}(\gamma, xn, x=1-4)$ به دست آمده از آزمایش و کد TALYS

واکنش هسته‌ای	انرژی برمشترالونگ گ	سطح مقطع تجربی	TALYS	واکنش هسته‌ای	انرژی برمشترالونگ گ	سطح مقطع تجربی	TALYS
$^{89}\text{Y}(\gamma, n)^{88}\text{Y}$	45	52.89 ± 7.23	46.66	$^{89}\text{Y}(\gamma, 2n)^{87}\text{Y}$	45	6.00 ± 0.81	7.13
	55	36.534 ± 5.24	41.36		55	5.42 ± 0.77	6.04
$^{89}\text{Y}(\gamma, 3n)^{86}\text{Y}$	45	1.48 ± 0.21	1.815	$^{89}\text{Y}(\gamma, 4n)^{85}\text{Y}$	45	---	---
	55	1.99 ± 0.30	2.108		55	0.93 ± 0.16 0	0.7885



شکل ۳. سطح مقطع واکنش های $^{89}\text{Y}(\gamma, xn, x=1-4)$ به دست آمده از آزمایش و کد TALYS

بحث و نتیجه گیری:

در این آزمایش سطح مقطع واکنش های $^{89}\text{Y}(\gamma, xn, x=1-4)$ با استفاده از فوتون های با بیشینه انرژی ۵۵ و ۴۵ MeV به روش اسپکترومتری پرتو گاما اندازه گیری شده است. هم چنین سطح مقطع این واکنش ها با استفاده از کد TALYS 1.4 محاسبه شده است. نتایج حاصل از آزمایش و کد TALYS نشان می دهند که سطح مقطع واکنش های $^{89}\text{Y}(\gamma, xn)$ از انرژی آستانه تا مقداری که کانال بعدی واکنش باز می شود به سرعت افزایش می یابد. پس از آن سطح مقطع یک واکنش تا انرژی که سطح مقطع واکنش بعدی افزایش می یابد تقریباً ثابت است و به دنبال آن به دلیل باز شدن کانال های دیگر سطح مقطع کاهش می یابد. این نتایج نشان دهنده نقش انرژی برانگیختگی در کانال های مختلف واکنش است.

مراجع:

- [1] IAEA-TECDOC-1178: Hand book on photo nuclear data for applications cross- sections and spectra, 2000. Available online at: <http://www.nds.iaea.org/publications/tecdocs/>.
- [2] S. A. Kandil, B. Scholten, K. F. Hassan, H. A. Hanafi, S. M. Qaim, A comparative study on the separation of radioyttrium from Sr- and Rb-targets via ion-exchange and solvent extraction techniques, with special reference to the production of no-carrier-added ^{86}Y , ^{87}Y and ^{88}Y using a cyclotron, J. Radioanal. Nucl. Chem. 279, 823-832 (2009).
- [3] V. V. Varlamov, N. N. Peskov, D. S. Rudenko, M. E. Stepanov, Photon neutron reaction cross sections in experiments with beams of quasimonoenergetic annihilation photons, Report: Moscow State Univ. Inst. of Nucl. Phys. Rep, 715, 48-57 (2003).



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

- [4] B. L. Berman, J. T. Caldwell, R. R. Harvey, M. A. Kelly, R. L. Bramblett, S. C. Fultz, Photoneutron Cross Sections for Zr^{90} , Zr^{91} , Zr^{92} , Zr^{94} , and Y^{89} , Phys. Rev, 162, 1098-1112 (1967).
- [5] A. Lepretre, H. Beil, R. Bergere, P. Carlos, A. Veyssiere, M. Sugawara, The giant dipole states in the A = 90 mass region, Nucl. Phys. A, 175, 609-628 (1971).
- [6] I. Z. Beseda, A. I. Guty, Y. E. Kostyu, A. P. Osipenko, N. T. Sabolchy, I. V. Khimich, I. A. Shabalina, Study of the Short-Lived Isomeric States of Thallium and Yttrium Excited in the Reaction (γ, n) , J. Yad. Fiz, 54, 609-615, (1991).
- [7] V. V. Varlamov, N. N. Peskov, D. V. Rudenko, M. E. Stepanov, Consistent evaluation of photoneutron reaction cross-sections using data obtained in experiments with quasimonoenergetic annihilation photon beams at Livermore (USA) and Saclay (France). IAEA Report, INDC(CCP)-440, 37-64, (2004).
- [8] H. Naik, S. Singh, A. Goswami, V. K. Manchanda, G. N. Kim, K. S. Kim, M-W. Lee, M. S. Rahman, D. Raj, S. Ganesan, Measurement of photo-neutron cross-sections in ^{208}Pb and ^{209}Bi with 50–70 MeV bremsstrahlung, Nucl. Instr. Methods B, 269, 1417-1424 (2011).
- [9] V. Di Napoli, A. Lacerenza, F. Salvetti, H. De Carvalho, Martins, J. Benuzzi, Production of ^{24}Na and ^{22}Na from ^{27}Al by high-energy photons, Lettere. Al. Nuovo. Cimento, 1, 835-839, (1971).
- [10] H. Naik, S. Ganesan, M-W. Lee, G. N. Kim, M. H. Cho, W. Namkung, Yields of fission products in the gamma induced fission of preactinides and actinides, J. Korean. Phys. Soc 59 (2011) 1848.
- [11] R. B. Firestone, C. M. Baglin, F. S. Y. Chu, Table of isotopes, 8th Edition. Update on CD-ROM. (John Wiley & Sons, New York. 1998).
- [12] CDFE, On-line nuclear reaction threshold and energy values calculator, <http://cdfe.sinp.msu.ru/>.