



مطالعه تئوری سطح مقطع واکنش‌های $^{141}\text{Pr}(\gamma, xn)^{140,139,138m,g}\text{Pr}$ و نسبت بهره ایزومری

$^{138m,g}\text{Pr}$ در واکنش فوتوهسته‌ای $^{141}\text{Pr}(\gamma, 3n)$

تاتاری، منصوره^(۱)*

(۱) دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

چکیده:

در این مقاله، سطح مقطع واکنش‌های فوتوهسته‌ای $^{141}\text{Pr}(\gamma, xn)^{140,139,138m,g}\text{Pr}$ و نسبت بهره ایزومری واکنش $^{141}\text{Pr}(\gamma, 3n)^{138m,g}\text{Pr}$ با تابش ترمزی با بیشینه انرژی ۵۵، ۶۰ و ۶۵ MeV مورد مطالعه قرار گرفته است. نحوه تولید فوتون‌های ترمزی برای انجام واکنش‌های فوتوهسته‌ای، با استفاده از کد MCNPX شبیه‌سازی شده و با استفاده از سطح مقطع‌های به‌دست آمده از کد TALYS-1.8 و شار فوتون‌ها، نسبت بهره ایزومری $^{138m,g}\text{Pr}$ در واکنش $^{141}\text{Pr}(\gamma, 3n)$ محاسبه شده است.

کلمات کلیدی سطح مقطع واکنش - نسبت بهره ایزومری - $^{138m,g}\text{Pr}$ - تابش ترمزی - کد TALYS1.8

Theoretical study of cross sections in the $^{141}\text{Pr}(\gamma, xn)^{140, 139, 138m,g}\text{Pr}$ reactions and isomeric yield ratio of $^{138m,g}\text{Pr}$ in the $^{141}\text{Pr}(\gamma, 3n)$ photonuclear reaction

Tatari, Mansureh^{*(1)}

⁽¹⁾Yazd University, Department of Physics, Nuclear Physics division



Abstract

In this paper, the $^{141}\text{Pr}(\gamma, xn)^{140,139,138\text{m,g}}\text{Pr}$ photo-nuclear reaction cross sections and the isomeric yield ratio in the $^{141}\text{Pr}(\gamma, 3n)^{138\text{m,g}}\text{Pr}$ reaction have been studied using the bremsstrahlung end-point energies of 55, 60 and 65 MeV. Production of Bremsstrahlung radiation for photo-nuclear reactions has been simulated using the MCNPX code and the reaction cross sections are obtained using the TALYS code. The isomeric yield ratio of $^{138\text{m,g}}\text{Pr}$ in the $^{138}\text{Pr}(\gamma, 3n)$ reaction has been calculated using the results of TALYS1.8 code and photon flux.

Keywords: Reaction cross sections, Isomeric yield ratio, $^{138\text{m,g}}\text{Pr}$, Bremsstrahlung radiation, TALYS1.8 code

مقدمه:

نسبت بهره‌ی ایزومری، $Y_{\text{high-spin}}/Y_{\text{low-spin}}$ ، در مطالعه‌ی اثر تکانه زاویه‌ای در واکنش‌های هسته‌ای، و وابستگی اسپینی چگالی تراز هسته‌ای در آزمایش مدل‌های هسته‌ای دارای اهمیت است [۴-۱]. اندازه‌گیری نسبت بهره‌ی ایزومری با استفاده از فوتون، دارای مزایایی در مطالعه‌ی ساختار هسته‌ای و مکانیسم واکنش‌های هسته‌ای است؛ زیرا فوتون‌ها نمی‌توانند تکانه زاویه‌ای بزرگی را به هسته مرکب بدهند. خصوصیات واکنش‌های هسته‌ای در ناحیه انرژی تشدید بزرگ دوقطبی (GDR) و در ناحیه انرژی‌های بیشتر از انرژی آستانه فوتوپایون به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است. در نواحی انرژی متوسط ۱۵۰-۳۰ MeV، از لحاظ تئوری و تجربی زیاد مورد مطالعه قرار نگرفته است. دلیل این امر وجود مشکلاتی در انجام آزمایش و به‌طور عمده کمبود چشمه فوتونی با شدت زیاد است [۵]. ایزوتوپ ^{140}Pr در پزشکی دارای اهمیت به‌سزایی است. از ^{140}Pr به‌عنوان ردیاب در طی توموگرافی گسیل پوزیترون (PET) استفاده می‌شود.



در این کار برای محاسبه‌ی سطح مقطع متوسط و نسبت بهره ایزومری در واکنش‌های فوتو هسته‌ای $^{141}\text{Pr}(\gamma, xn)$ (3-1 x با تابش ترمزی با بیشینه انرژی 55 MeV، 60 و 65، طیف برمشترالونگ به وسیله‌ی کد MCNPX شبیه‌سازی شده و سطح مقطع این واکنش‌ها برای فوتون‌های تک‌انرژی، به صورت تئوری، با استفاده از کد TALYS-1.8 به دست می‌آید.

روش کار:

محاسبه سطح مقطع متوسط و نسبت بهره ایزومری

الکترون‌های با انرژی 55 MeV، 60 و 65 که از دهانه شتاب‌دهنده‌ی خطی خارج شده‌اند، بر یک قطعه تنگستن به ابعاد $10 \times 10 \text{ cm}^2$ و ضخامت 1 mm فرود می‌آیند و فوتون‌های ترمزی تولید می‌کنند. تنگستن در فاصله 18 cm از پنجره خروجی و عمود بر جهت باریکه الکترون قرار دارد. نمونه‌های ^{141}Pr با ضخامت 1 mm با فوتون‌های تابش ترمزی با انرژی بیشینه 55 MeV، 60 و 65 پرتو دهی می‌شود. نمونه‌ها در هوا و در فاصله 12 cm از ورقه تنگستن و عمود بر باریکه الکترون قرار می‌گیرند [6]. به این ترتیب شار فوتون‌های تابش ترمزی فرودی بر نمونه‌های Pr با استفاده از کد MCNPX شبیه‌سازی می‌شود و با استفاده از کارت F4/E4، تابع توزیع انرژی فوتون‌ها، $\phi(E)$ ، را درون نمونه‌های Pr به دست می‌آوریم. مشخصه‌های واپاشی هسته‌های رادیواکتیو $^{140,139,138m,g}\text{Pr}$ از جدول ایزوتوپ‌ها [7] گرفته شده و در جدول (1) نشان داده شده است. سطح مقطع متوسط به صورت زیر محاسبه می‌شود [8]:

$$\langle \sigma \rangle = \frac{\int_{E_{th}}^{E_{\gamma max}} \sigma(E) \phi(E) dE}{\int_{E_{th}}^{E_{\gamma max}} \phi(E) dE} \quad (1)$$



که انتگرال گیری از انرژی آستانه واکنش تا انرژی بیشینه تابش ترمزی انجام می شود. نسبت بهره ایزومری نیز از نسبت بهره تولید حالت با اسپین بیشتر به بهره تولید حالت با اسپین کمتر محاسبه می شود. بهره تولید حالت ها به این صورت محاسبه می شود [۹]:

$$Y_k = N_0 \int_{E_{th}}^{E_{\gamma \max}} \phi(E) \sigma_k(E) dE \quad (2)$$

که k نشان دهنده حالات ایزومری m و g است، N_0 تعداد هسته های هدف، $\phi(E)$ شار فوتون های تابش ترمزی و $\sigma(E)$ سطح مقطع واکنش می باشند.

جدول (۱) مشخصه ی و پاشی هسته های $^{140,139,138m,g}Pr$ [۷].

شدت پرتو گاما (%)	انرژی پرتو گاما (keV)	(پارینه) اسپین	نیمه عمر	هسته
۰٫۱۵۰	۳۰۶٫۹	1^+	$3,39(m)$	^{140}Pr
۰٫۵	۱۵۹۶٫۲۱۰			
۰٫۲۳۶	۲۵۵٫۱۱	$5/2^+$	$4,41(h)$	^{139}Pr
۰٫۴۷	۱۳۴۷٫۳۳			



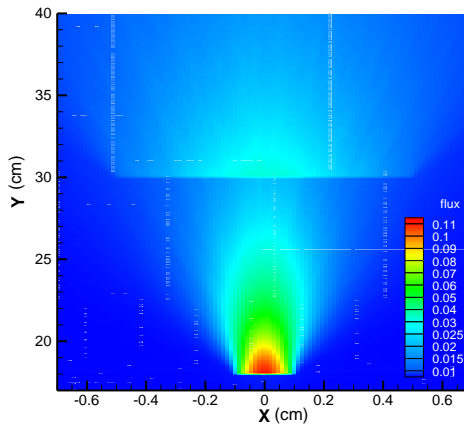
۰٫۳۴۳	۱۶۳۰٫۶۷			
۸۰	۳۰٫۲۷	7^-	(h) ۲٫۱۲	^{138m}Pr
۱۰۰	۷۸۸٫۷۴۲			
۰٫۸۲	۶۸۸٫۲	1^+	(m) ۱٫۴۵	^{138g}Pr
۲٫۴	۷۸۸٫۷۴۲			

نتایج:

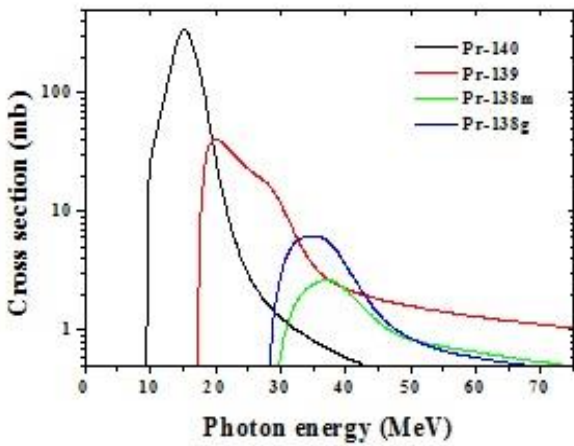
در شکل (۱) شار فوتون‌های حاصل از برهم‌کنش الکترون‌ها با تنگستن که با استفاده از کارت مش‌تالی به دست آمده است، نشان داده شده است. به وضوح مشاهده می‌شود که فوتون‌های تابش ترمزی در محل قرارگیری تنگستن تولید شده‌اند. هم‌چنین تجمع توزیع، درون هدف Pr ($Y = 30 \text{ cm}$) قابل مشاهده است. در شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب تابع توزیع انرژی فوتون‌های تابش ترمزی درون قطعه تنگستن حاصل از کد MCNPX و سطح مقطع تولید هسته‌های رادیواکتیو $^{140,139,138m,g}\text{Pr}$ حاصل از کد TALYS-1.8 نشان داده شده‌اند. با توجه به پیوسته بودن طیف انرژی فوتون‌های تابش ترمزی، با استفاده از رابطه (۱) سطح مقطع متوسط واکنش‌های فوتو هسته‌ای برای فوتون‌های با بیشینه انرژی ۶۵ MeV محاسبه شده و در شکل (۴) نشان داده شده است. در جدول (۲) نیز، نسبت بهره‌ی ایزومری هسته‌های $^{138m,g}\text{Pr}$ و سطح مقطع متوسط واکنش‌های



فوتو هسته ای $^{141}\text{Pr}(\gamma, xn)^{140,139,138m,g}\text{Pr}$ که از محاسبه با کد TALYS1.8 و نتایج شبیه سازی با کد MCNPX به دست آمده اند نشان داده شده است.

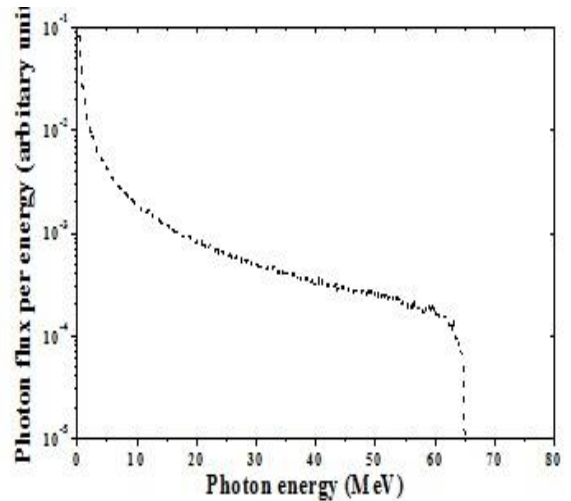


شکل (۱) توزیع فضایی شار فوتون های تولید شده در گستره ی مکانی آزمایش.



شکل (۳) سطح مقطع تولید هسته های

$^{141}\text{Pr}(\gamma, xn, x=1-3)$ در واکنش های $^{140,139,138m,g}\text{Pr}$

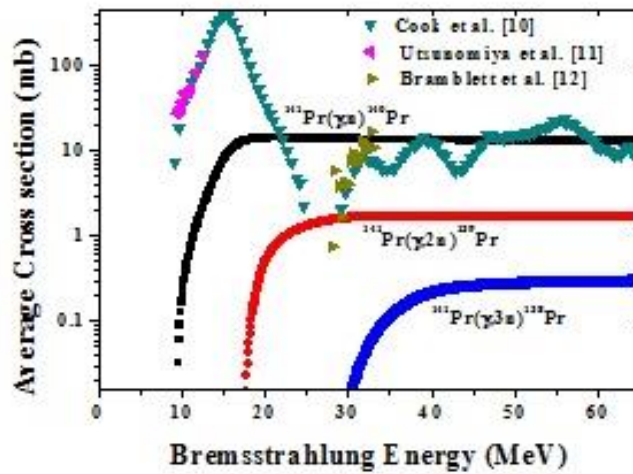


city of Isfahan

6

شکل (۲) طیف تابش ترمزی حاصل از کد

MCNPX



شکل (۴) سطح مقطع متوسط واکنش‌های $^{141}\text{Pr}(\gamma, xn)^{140,139,138m,g}\text{Pr}$ که با استفاده از نتایج کد TALYS و کد MCNPX محاسبه شده است.

های و سطح مقطع متوسط واکنش $^{141}\text{Pr}(\gamma, 3n)$ در واکنش $^{138m,g}\text{Pr}$ جدول (۲) نتایج نسبت بهره‌ی ایزومری $^{141}\text{Pr}(\gamma, xn)^{140,139,138m,g}\text{Pr}$



نسبت بهره ایزومری	سطح مقطع متوسط (mb)	انرژی (MeV)	واکنش هسته‌ای
--	۱۲٫۱۶۹	۵۵	$^{141}\text{Pr}(\gamma, n)^{140}\text{Pr}$
--	۱۲٫۷۸۹	۶۰	
--	۱۲٫۷۴۰	۶۵	
--	۱٫۷۰۴	۵۵	$^{141}\text{Pr}(\gamma, 2n)^{139}\text{Pr}$
--	۱٫۷۰۲	۶۰	
--	۱٫۷۰۰	۶۵	
۰٫۲۲۸۰۸	۰٫۲۸۱	۵۵	$^{141}\text{Pr}(\gamma, 3n)^{138m,g}\text{Pr}$
۰٫۲۲۸۲۱	۰٫۲۸۷	۶۰	
۰٫۲۲۸۴۴	۰٫۲۹۱	۶۵	

بحث و نتیجه گیری:



در این مقاله نسبت بهره ایزومری هسته‌های $^{138m,g}\text{Pr}$ در واکنش $^{141}\text{Pr}(\gamma, 3n)$ با استفاده از سطح مقطع‌های به‌دست آمده از کد TALYS1.8 و شار فوتون‌های به‌دست آمده از شبیه‌سازی با کد MCNPX با استفاده از فوتون‌های تابش ترمزی با بیشینه انرژی ۵۵ MeV، ۶۰ و ۶۵ محاسبه شده است. نتایج تجربی برای مقایسه وجود ندارد. همچنین به دلیل اینکه فوتون‌های تابش ترمزی مطابق شکل (۲) دارای طیف پیوسته انرژی هستند، سطح مقطع متوسط برای واکنش‌های $^{140,139,138m,g}\text{Pr}(\gamma, xn)$ محاسبه شده است. از نتایج به‌دست آمده از کد TALYS مشاهده می‌شود که سطح مقطع واکنش‌های $^{141}\text{Pr}(\gamma, xn)$ دارای رفتار مشابهی هستند. در یک واکنش خاص، سطح مقطع از انرژی آستانه تا مقدار انرژی خاصی به سرعت افزایش پیدا می‌کند و در انرژی‌های بالاتر تقریباً ثابت است زیرا سطح مقطع واکنش‌های دیگر شروع به افزایش می‌کنند. پس از آن کاهش در سطح مقطع دیده می‌شود زیرا سطح مقطع کانال‌های دیگر واکنش به مقدار ثابتی می‌رسند. افزایش سطح مقطع واکنش‌های $^{141}\text{Pr}(\gamma, n)$ و $^{141}\text{Pr}(\gamma, 2n)$ سریع‌تر از واکنش $^{141}\text{Pr}(\gamma, 3n)$ است. این افزایش سریع از انرژی آستانه تا حدود ۱۷-۲۲ MeV به دلیل اثر تشدید بزرگ دوقطبی (GDR) و همچنین انرژی برانگیختگی است. مطابق شکل (۴) نتایج تجربی برای واکنش $^{140}\text{Pr}(\gamma, n)$ در توافقی خوبی با نتایج محاسبه شده در این مقاله در انرژی‌های ۵۵ MeV، ۶۰ و ۶۵ است.

مراجع:

[I. B. Haller, G. Rudstam, Relative yields of the isomeric pairs ^{69g}Zn - ^{69m}Zn and ^{52g}Mn - ^{52m}Mn in some spallation reactions induced by 20-153 MeV protons. J. Inorg. Nucl. Chem. 19, 1-10, 1961.



- [۲] J. R. Huizenga, R. Vandenbosch, Interpretation of isomeric cross-section ratios for (n, γ) and (γ ,n) reactions. Phys. Rev. 120, 1305-1319, 1960.
- [۳] C. T. Bishop, J. R. Huizenga, J. P. Hummel, Isomer ratios from (α , xn) reactions on silver. Phys. Rev. 135, B401-B414, 1964.
- [۴] R. Vandenbosch, L. Haskin, J. C. Norman, Isomer ratios for $Y^{87,87m}$ and the spin dependence of the nuclear level density. Phys. Rev. 137, B1134-B1145, 1965.
- [۵] K. S. Kim, Md. S. Rahman, M. W. Lee, G. N. Kim, P. D. Khue, N. Van Do, M. H. Cho, I. S. Ko, W. Namkung, H. Naik, T. I. Ro, Measurement of isomeric yield ratios for $^{93}\text{Nb}(\gamma,4n)^{89m,g}\text{Nb}$ and $^{nat}\text{Mo}(\gamma,xn1p)^{95m,g}\text{Nb}$ reactions with 50-, 60-, and 70-MeV bremsstrahlung. J. Radioanal. Nucl. Chem. 287, 869-878, 2011.
- [۶] M. Tatari, H. Naik, G. N. Kim, K. Kim, S. G. Shin, M.-H. Cho, Measurement of photo-neutron cross sections and isomeric yield ratios in the $^{89}\text{Y}(\gamma,xn)^{89-x}\text{Y}$ reactions at the bremsstrahlung end-point energies of 65, 70 and 75 MeV, Radiochim. Acta, 247, 1-11, 2017.
- [۷] 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.
- [۸] H. Naik, G.N. Kim, R. Schwengner, K. Kim, M. Zaman, M. Tatari, M. Sahid, S.-C. Yang, R. John, R. Massavczyk, A. Junghans, S.G. Shin, Y. Key, A. Wagner, M. W. Lee, A. Goswami, M.-H. Cho, Photo-neutron reaction cross-section for ^{93}Nb in the end-point bremsstrahlung energies, Nuclear Physics A, 916, 168–182, 2013. Of 12–16 and 45–70 MeV, Eur. Phys. J. A, 50, 117-130, 2014.
- [۹] H. Naik, G.N. Kim, K. Kim, M. Zaman, M. Sahid, S.-C. Yang, M.W. Lee, Y.R. Kang, S.G. Shin, M.-H. Cho, A. Goswami, and T.Y. Song, Isomeric yield ratios of $^{87m,g}\text{Y}$ from different nuclear reactions, Eur. Phys. J. A, 50, 117-130, 2014.
- [۱۰] B. C. Cook, D. R. Hutchinson, R. C. Waring, J. N. Bradford, R. G. Johnson, J. E. Griffin, Praseodymium-141 Photoneutron Cross Section to 65 MeV, Physical Review, 143, 730-739



1966.

[۱۱] H. Utsunomiya, A. Makinaga, S. Goko, T. Kaihori, H. Akimune, T. Yamagata, M. Ohta, H. Toyokawa, S. Muller, Y. -W. Lui, S. Goriely, Photoneutron cross section measurements on the $N = 82$ nuclei ^{139}La and ^{141}Pr : Implications for p-process nucleosynthesis, Physical Review C, 74, 025806-025815, 2006.

[۱۲] R. L. Bramblett, J. T. Caldwell, B. L. Berman, R. R. Harvey, S. C. Fultz, Photoneutron cross sections of Pr-141 and I-127 from threshold to 33 MeV, Physical Review, 148, 1198-1210, 1966.