



Исобеж ХОЛБАЕВ,
Профессор Национальный университет Узбекистана
Сатимбой ПАЛВАНОВ,
Профессор Национальный университет Узбекистана
Гўзал АТАЖАНОВА,
базовый докторант Национальный университет Узбекистана
E-mail: guatajanova@gmail.com

Рецензент: доцент М. Юлдашев

ВОЗБУЖДЕНИЕ ИЗОМЕРНЫХ СОСТОЯНИЙ В РЕАКЦИИ ТИПА (n,2n) НА ЯДРАХ $^{108,110}\text{Pd}$

Аннотация

Методом наведенной активности измерены изомерные отношения выходов и сечений (n,2n)-реакций на ядрах $^{108,110}\text{Pd}$. Экспериментальные изомерные отношения сравниваются с результатами других работ и рассчитанными результатами по статистической модели ядра.

Ключевые слова: активность, изомер, ядро, ядерная реакция, фотоядерная реакция, изотоп, радиоактивность, сечение, спин, нейтрон.

$^{108,110}\text{Pd}$ ЯДРОЛАРДАГИ (n,2n) ТУРДАГИ РЕАКЦИЯЛАРДА ИЗОМЕР ҲОЛАТЛАР УЙҒОНИШИ

Аннотация

Киритилган активлик методи билан $^{108,110}\text{Pd}$ ядроларда (n,2n)-реакциялар изомер чиқишлар ва кесимлар нисбати ўлчанган. Экспериментал изомер чиқишлар нисбати бошқа ишлар натижалари ва ядро статистик модели бўйича ҳисобланган натижалар билан солиштирилган.

Калит сўзлар: активлик, изомер, ядро, ядро реакцияси, фотоядро реакцияси, изотоп, радиоактивлик, кесим, спин, нейтрон.

EXCITATION OF ISOMERIC STATES IN REACTIONS OF THE (n,2n) TYPE ON $^{108,110}\text{Pd}$ NUCLEI

Annotation

The isomeric yield ratios and cross-section ratios of (n,2n)-reactions on nuclei $^{108,110}\text{Pd}$ have been measured by the induced radioactivity method. Experimental isomeric ratios are compared with other experimental data and with calculations by a statistical model of nuclei.

Keywords: activity, isomeric, nuclear of atom, nuclear reaction, photonuclear reaction, isotopes, radioactivity, cross section, spin, neutron.

Исследование относительная вероятность возбуждения, т.е. изомерные отношения выходов и сечений реакции позволяет получить информацию о механизме реакции, в частности, о моменте инерции ядра, о спиновой зависимости плотности уровней и о характере переходов между высоковозбужденными ядерными состояниями [1].

Изомерные отношения выходов и сечений реакции $^{110}\text{Pd}(\gamma, n)^{109\text{m}}\text{Pd}$ изучены в основном в области гигантского дипольного резонанса. В области энергий выше 24 МэВ имеется несколько работ [2,3]. В случае реакции (n,2n), несмотря на проведение многочисленных экспериментов при 14 МэВ, очень мало данных по отдельным измерениям сечений изомерного и основного уровней.

В настоящей работе методом наведенной активности исследованы сечения образования изомерных состояний $^{109\text{m}}\text{Pd}$ в реакциях типа (n,2n) на ядре ^{110}Pd при энергии нейтронов $E_n=14,1$ МэВ. Также с помощью программного пакета TALYS-1.6 была моделирована фотоядерная реакция $^{110}\text{Pd}(\gamma, n)^{109\text{m}}\text{Pd}$ в области энергий от порога до 40 МэВ.

Эксперименты проводились на нейтронном генераторе НГ-150 ИЯФ АН РУз [4]. Нейтронный генератор НГ-150 реализует потоки быстрых нейтронов с энергиями ~ 2.4 и 14 МэВ из реакций $D+d \rightarrow {}^3\text{He}+n$ или $T+d \rightarrow \alpha+n$ при использовании дейтериевых и тритиевых мишеней. При этом потоки нейтронов составляют соответственно ~ 10^8 и 10^{10} н/сек. Время облучения нейтронным потоком с энергией 14,1 МэВ составляет 50 мин. Мониторинг потока нейтронов осуществлялся с помощью пластинки из алюминия натурального изотопного состава, которые облучались вместе с мишенями. В качестве мишеней использовались образцы палладия в природной смеси изотопов массой 1-2 г в виде металлической фольги. Время облучения 40÷60 мин.

Наведенная γ -активность мишеней измерялась на гамма-спектрометре фирмы Canberra, состоящем из германиевого детектора HPGe (с относительной эффективностью - 15 %, разрешением для линии ^{60}Co 1332 кэВ – 1,8 кэВ), цифрового анализатора DSA 1000 и персонального компьютера с программным пакетом Genie 2000 для набора и обработки гамма-спектров. Гамма-спектрометр по энергии калибровали с помощью стандартного набора источников ОСГИ. Измерения выполняли в стандартной геометрии, в которой градуировали детектор по эффективности. Время измерения наведенной γ -активности мишеней составляет 30-60 мин.

Калибровка гамма спектрометра по энергии проводилась с помощью стандартного набора гамма источников ОСГИ. Измерения выполняли в стандартной геометрии, в которой проводилась градуировка детектора по эффективности. Под эффективностью здесь понимаем отношение числа зарегистрированных импульсов в фотопиках к общему числу квантов, испущенных в телесный угол 4π.

Заселение изомерного и основного уровней идентифицировали по γ -линиям. Спектроскопические характеристики ядер-продуктов реакции $(n,2n)$, необходимые для обработки результатов измерений, взяты из работ [5,6] и приведены в табл.1, где Q – энергия реакции, I^π – спин и четность уровня, $T_{1/2}$ – период полураспада ядра, E_γ – энергия γ – квантов, I_γ – интенсивность γ – квантов данной энергии на распад, p – коэффициент ветвления γ -перехода.

Таблица 1. Спектроскопические характеристики исследуемых ядер

Ядерная реакция	Q , МэВ	I^π	$T_{1/2}$	E_γ , кэВ	I_γ , %	p
$^{110}\text{Pd}(\gamma,n)^{109\text{m}}\text{Pd}$	- 8,806	11/2 ⁻	4,69 мин	188,9	58	1
$^{110}\text{Pd}(\gamma,n)^{109\text{g}}\text{Pd}$	- 8,806	5/2 ⁺	13,47 ч	88,10	5	-
$^{108}\text{Pd}(\gamma,n)^{107\text{m}}\text{Pd}$	- 9,551	11/2 ⁻	21,3 с	210	88	1

Для получения абсолютных значений сечений основного и изомерного состояний использовались методы сравнения выходов исследуемой и мониторинг реакции. В качестве мониторинг реакции использовались $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ ($T_{1/2}=15$ ч, $E_\gamma=1368$ кэВ), сечение которого равно: $\sigma_m=114\pm 6$ мбн при $E_n=14,6\pm 0,3$ МэВ [7].

Полученные экспериментальные результаты об изомерных отношениях выходов и сечений реакций $(n,2n)$ на ядрах $^{108,110}\text{Pd}$ приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сечение реакции $(n,2n)$ на $^{108,110}\text{Pd}$

Ядерная реакция	E_n , МэВ	σ_m , мб	σ_g , мб	Источник
$^{108}\text{Pd}(n,2n)^{107\text{m}}\text{Pd}$	14,0*	474	-	Настоящая работа
	14,5*	481	-	Настоящая работа
	14,1	478 $\pm$ 22	-	Настоящая работа
	14,7	511 $\pm$ 15	-	[8]
	14,0*	490	1067	Настоящая работа
$^{110}\text{Pd}(n,2n)^{109\text{m,g}}\text{Pd}$	14,5*	510	1068	Настоящая работа
	14,1	561 $\pm$ 40	1371 $\pm$ 56	Настоящая работа
	14,2	-	1650 $\pm$ 105	[9]
	14,6	-	2510 $\pm$ 110	[11]
	14,8	551 $\pm$ 12	-	[12]
	14,6	510 $\pm$ 35	-	[10]
	14,0*	490	1067	Настоящая работа

Примечание. *Расчет сечений проводился по программе TALYS-1.6.

Как видно из табл. 2 значения сечения возбуждения изомерного состояния для реакции $^{108}\text{Pd}(n,2n)^{107\text{m}}\text{Pd}$ при энергии нейтронов 14,1 МэВ в области экспериментальных ошибок согласуются с данными теоретического расчета, полученных с помощью программного пакета TALYS-1.6. Только значения, полученные в работе [8] отличаются от данных других работ. Значения сечения возбуждения изомерного состояния для реакции $^{108}\text{Pd}(n,2n)^{107\text{m}}\text{Pd}$ в области экспериментальных ошибок согласуются между собой.

Функция возбуждения реакции $^{110}\text{Pd}(n,2n)^{109\text{g}}\text{Pd}$ и $^{110}\text{Pd}(n,2n)^{109\text{m}}\text{Pd}$ приведена на рис. 1 и 2 соответственно. Энергетическая зависимость сечения реакции $^{108}\text{Pd}(n,2n)^{107\text{m}}\text{Pd}$ и $^{110}\text{Pd}(n,2n)^{109\text{m}}\text{Pd}$, получена с помощью программного пакета TALYS-1.6.

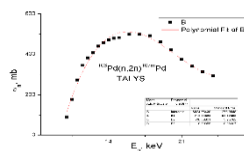
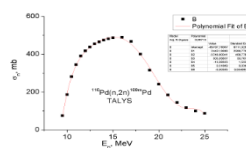


Рис.1. Сечение реакции $^{108}\text{Pd}(n,2n)^{107\text{m}}\text{Pd}$.



с. 5.6. Сечение реакции $^{110}\text{Pd}(n,2n)^{109\text{m}}\text{Pd}$

Полученная энергетическая зависимость изомерного отношения выходов реакций $^{108}\text{Pd}(\gamma,n)^{107\text{m}}\text{Pd}$ и $^{110}\text{Pd}(n,2n)^{109\text{m,g}}\text{Pd}$ может быть использована при изучении механизма фотоядерных реакций и разработки методик гамма- и нейтронного-активационного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Palvanov S.R. Excitation of Isomeric States in the (γ, n) , $(n, 2n)$, and $(\gamma, 2n)$ Reactions on the ^{113}In Nucleus // Physics of Atomic Nuclei. – Moscow (Russia), 2014. – Vol. 77, No. 1. – pp. 35-38.
2. Palvanov S., Akhmadzhanov T. Isomeric ratios $^{109\text{m,g}}\text{Pd}$ in the reactions (γ, n) and $(n, 2n)$ // Ukrainian Journal of Physics. – Kyiv (Ukraine), 2021. – Vol. 66, No. 6. – p. 461-465.
3. Nguyen Thi Hien, Guinyun Kim, Kwangsoo Kim et all. J Radioanal Nucl Chem (2017) 311:1559–1564.
4. <http://inp.uz>
5. Lederer C., Shirley V. Table of Isotopes. New York: Wiley & Sons. Inc. 2001.
6. Randa Z., Kreisinger F. // Journal of Radioanalytical Chemistry. 1983. v.77. N2. P. 279.
7. Holub E., Cindro N. // Jour. of Physics, Part G (Nucl.and Part.Phys.). 1976. V.2. P.405.
8. B.Minetti, A.Pasquarelli. Isomeric cross section ratio for $(n,2n)$ reactions. Nuclear Physics, Section A, Vol. 118, P. 449-455, 1968.

9. Kong X. et al. Cross sections for 13.5–14.7MeV neutron induced reactions on palladium isotopes // Appl. Radiat. Isot. - 1999. - Vol. 50, № 2. - pp. 361–364.
10. Бычков В.М., Манохин В.Н., Пащенко А.Б., Пляскина В.И. Сечения пороговых реакций, вызываемых нейтронами. - М.: Энергоиздат, 1982. -216 с.
11. Zhou Muyao, Zhang Yongfa, Wang Chuanshan, Zhang Lu, Chen Yitai, Zhou Shuxin, Zhang Shenjin, Xie Kuanzhong, Zhou Shenmuo, Chen Xueshi, Zhang Yiping, Yan Qinguan//Chinese J.of Nuclear Physics (Beijing). – 1987. - Vol. 9. - pp. 34-38.
12. Gonçalves I.F. et al. (n,p), (n, α) and (n,2n) reaction cross-sections for some isotopes of Zr, Pd, and Cd at 14.8 MeV // Int. J. Radiat. Appl. Instrumentation. Part A. Appl. Radiat. Isot. - 1987. - Vol. 38, № 11.- pp. 989–991