



Сатимбой ПАЛВАНОВ,
Профессор Национальный университет Узбекистана
Гўзал АТАЖАНОВА,
Базовый докторант Национальный университет Узбекистана
Исобеков ХОЛБАЕВ,
Профессор Национальный университет Узбекистана
E-mail: fregatova@gmail.com

Рецензент: профессор Э. Бозоров

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ ИЗОМЕРНОГО СОСТОЯНИЯ В РЕАКЦИИ (γ, n) НА ЯДРАХ С $108 \leq A \leq 144$

Аннотация

Методом наведенной активности исследована возбуждение изомерного состояния $11/2^-$ ядер с $108 \leq A \leq 144$ в фотонейтронной реакции (γ, n) при максимальной энергии тормозного излучения $E_{\gamma\max} = 30$ МэВ. Измерены изомерные отношения выходов реакций $^{110}\text{Pd}(\gamma, n)^{109m,g}\text{Pd}$, $^{116}\text{Cd}(\gamma, n)^{115m,g}\text{Cd}$, $^{130}\text{Te}(\gamma, n)^{129m,g}\text{Te}$, $^{138}\text{Ce}(\gamma, n)^{137m,g}\text{Ce}$, $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141m,g}\text{Nd}$. Также определены интегральные сечения фотоядерных реакций типа $(\gamma, n)^m$ на ядрах $^{134,136,138}\text{Ba}$ и их изомерные отношения. Результаты сравниваются с данными других работ.

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

$108 \leq A \leq 144$ ЯДРОЛАРДА (γ, n) РЕАКЦИЯ НАТИЖАСИДА ИЗОМЕР ҲОЛАТЛАР УЙҒОНИШИНИ ЎРГАНИШИ

Аннотация

Тормозланиш нурланишларнинг $E_{\gamma\max} = 30$ МэВ максимал энергиясида масса сони $108 \leq A \leq 144$ бўлган ядролардаги (γ, n) фотонейтрон реакцияларда $11/2^-$ изомер ҳолатлар уйғонишини индукцияланган активлик методи билан тадқиқ қилинган. $^{110}\text{Pd}(\gamma, n)^{109m,g}\text{Pd}$, $^{116}\text{Cd}(\gamma, n)^{115m,g}\text{Cd}$, $^{130}\text{Te}(\gamma, n)^{129m,g}\text{Te}$, $^{138}\text{Ce}(\gamma, n)^{137m,g}\text{Ce}$, $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141m,g}\text{Nd}$ реакциялар изомер чиқишлар нисбати ўлчанган. Шунингдек, $^{134,136,138}\text{Ba}$ ядросидаги $(\gamma, n)^m$ турдаги реакцияларнинг интеграл кесимлари ва уларнинг изомер нисбатлари аниқланган. Олинган натижалар бошқа ишларнинг натижалари билан солиштирилган

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

INVESTIGATION OF THE EXCITATION OF THE ISOMER STATE IN THE REACTION (γ, n) ON NUCLEI $108 \leq A \leq 144$

Annotation

The excitation of the isomeric state of $11/2^-$ nuclei with $108 \leq A \leq 144$ in the photoneutron reaction (γ, n) at the maximum bremsstrahlung energy $E_{\gamma\max} = 30$ MeV was studied by the method of induced activity. The isomeric ratios of the yields of the reactions $^{110}\text{Pd}(\gamma, n)^{109m,g}\text{Pd}$, $^{116}\text{Cd}(\gamma, n)^{115m,g}\text{Cd}$, $^{130}\text{Te}(\gamma, n)^{129m,g}\text{Te}$, $^{138}\text{Ce}(\gamma, n)^{137m,g}\text{Ce}$, $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141m,g}\text{Nd}$. The integral cross sections of photonuclear reactions of the $(\gamma, n)^m$ type on nuclei $^{134,136,138}\text{Ba}$ and their isomeric ratios are also determined. The results are compared with data from other works.

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

Относительная вероятность возбуждения изомерных и основных состояний конечного ядра определяется как изомерные отношения выходов (Y_m/Y_g) или сечения (σ_m/σ_g) ядерных реакций. Сопоставление экспериментальных данных по изомерному отношению с результатами расчета основного на статистической теории позволяет получить информацию о спиновой зависимости плотности уровней ядра [1]. Важное значение имеет изучение образования изомерных состояний ядер в ядерных реакциях с различными бомбардирующими частицами, который позволяет получать сведения о механизмах ядерных реакций и о свойствах возбужденных состояний атомных ядер [2]. Особенно интересным является изучение ядерных реакций типа $(n, 2n)$ и (γ, n) в результате которых образуется одинаковое ядро [3].

В настоящей работе методом наведенной активности исследована возбуждение изомерного состояния $11/2^-$ ядер с $108 \leq A \leq 144$ в реакции (γ, n) при максимальной энергии тормозного излучения $E_{\gamma\max} = 30$ МэВ. Причина выбора максимальной энергии тормозного излучения 30 МэВ связано с тем, что большинство экспериментальных работ по изучению выходов фотоядерных реакций для γ -активационного анализа проводили при такой энергии. Кроме того, при этой энергии изомерные отношения выходов и сечений реакций для большинство ядер не проводилось.

Эксперименты проводили на тормозном γ -пучке высокоточного бетатрона СБ-50 НУУз методом наведенной активности. Временные режимы, т.е. время облучения, паузы и измерения выбрали в соответствии с периодом полураспада образующихся радионуклидов. Наведенную активность измерялись полупроводниковым гамма-спектрометром с детектором ДГДК-63В. γ -спектры регистрировались анализатором с 4096 каналами. Энергетическое разрешение спектрометра составляет $\sim 3,5$ кэВ (^{60}Co). γ -спектры мишеней измеряли после паузы 0,5-50 мин в течение 3-120 мин.

Заселенность изомерных m и основных g уровней дочерних ядер идентифицировали по соответствующим γ -линиям. Данные о схеме распада, необходимые для обработки результатов измерений, взяты из работы [4]. Изомерные отношения выходов $d=Y_m/Y_g$ фотоядерных реакций определяли методом сравнения площадей под фотопиками соответствующих γ -линий [5].

В случае реакции (γ, n) на ядрах $^{134,136,138}\text{Ba}$, который основной состояний образующих конечный ядра являются стабильными, изомерные отношений определи как изомерные отношение интегральных сечений реакции $r_{\text{int}} = \sigma_{\text{int}}^m / \sigma_{\text{int}}^g$, где σ_{int}^m - интегральные сечений изомерного состояний, σ_{int}^g - интегральные сечения основного состояний. Данные о интегральные сечения основного состояний были взяты из работы [6]. Интегральные сечений реакции определили через отношений выходов реакции. Причина выбора изотопа Ba для объектом исследована, связана с тем, что свойства стабильных изотопов Ba сильно меняются с изменением числа нейтронов в ядре. Наиболее тяжелый изотоп ^{138}Ba имеет замкнутую нейтронную оболочку ($N=82$), а наиболее легкий ^{130}Ba характеризуется значительной квадрупольной деформацией ($\beta_2=0,23$). Кроме того, в области высшие гигантского дипольного резонанса изомерные отношения сечений реакций $(\gamma, n)^m$ на изотопа Ba не определено.

Полученные результаты приведены в табл. 2. Как видно из табл. 2., наши результаты согласуются в пределах погрешности измерений с данными других работ.

Таблица 3. Изомерные отношения реакции (γ, n) для ядер с $108 \leq A \leq 144$

ФЯР	E_{ymax} , МэВ	d или g	σ , параметр ограничения спина	Источник
$^{108}\text{Pd}(\gamma, n)^{107m,g}\text{Pd}$	25	$0,054 \pm 0,06^*$		[9]
	30	$0,051 \pm 0,06^*$	3,4	Настоящая работ
$^{110}\text{Pd}(\gamma, n)^{109m,g}\text{Pd}$	20,5	$0,072 \pm 0,06$		[10]
	25	$0,060 \pm 0,07^*$		[9]
	30	$0,067 \pm 0,05$	3,2	Настоящая работа
$^{116}\text{Cd}(\gamma, n)^{115m,g}\text{Cd}$	22	$0,12 \pm 0,02$		[15]
	25	$0,18 \pm 0,02^*$		[9]
	30	$0,14 \pm 0,02$	2,7	Настоящая работа
$^{118}\text{Sn}(\gamma, n)^{117m,g}\text{Sn}$	25	$0,11 \pm 0,02$		[9]
$^{130}\text{Te}(\gamma, n)^{129m,g}\text{Te}$	20	$0,45 \pm 0,06$		[11]
	25	$0,45 \pm 0,05^*$		[9]
	25	$0,49 \pm 0,03$		[12]
	30	$0,48 \pm 0,03$		[15]
	30	$0,47 \pm 0,03$	2,5	[Настоящая работа]
$^{136}\text{Xe}(\gamma, n)^{135m,g}\text{Xe}$	22	$0,10 \pm 0,02$	2,8	[15]
$^{134}\text{Ba}(\gamma, n)^{133m,g}\text{Ba}$	25	$0,17 \pm 0,01^*$		[9]
	30	$0,17 \pm 0,01^*$	2,6	Настоящая работа
$^{136}\text{Ba}(\gamma, n)^{135m,g}\text{Ba}$	25	$0,15 \pm 0,01^*$		[9]
	30	$0,17 \pm 0,01^*$	2,4	Настоящая работа
$^{138}\text{Ba}(\gamma, n)^{137m,g}\text{Ba}$	25	$0,12 \pm 0,01^*$		[9]
	30	$0,11 \pm 0,01^*$	2,6	Настоящая работа
$^{138}\text{Ce}(\gamma, n)^{137m,g}\text{Ce}$	25	$0,12 \pm 0,02$		[12]
	30	$0,13 \pm 0,02$		[12]
	30	$0,12 \pm 0,02$	3,1	Настоящая работа
$^{140}\text{Ce}(\gamma, n)^{139m,g}\text{Ce}$	23,8	$0,182 \pm 0,018$		[14]
	25	$0,190 \pm 0,017$		[12]
	30	$0,201 \pm 0,015$		[12]
	30	$0,201 \pm 0,015$	3,5	Настоящая работа
	31	$0,193 \pm 0,014$		[13]
$^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141m,g}\text{Nd}$	18	$0,045 \pm 0,003$		[14]
	25	$0,061 \pm 0,010^*$		[9]
	25	$0,043 \pm 0,002$		[12]
	30	$0,045 \pm 0,001$		[12]
	30	$0,046 \pm 0,002$	2,2	Настоящая работа
$^{144}\text{Sm}(\gamma, n)^{143m,g}\text{Sm}$	20,5	$0,044 \pm 0,003$		[10]
	25	$0,047 \pm 0,004^*$		[9]
	30	$0,044 \pm 0,002$	2,6	Настоящая работа

*Приведено значение $r_{\text{int}} = \sigma_{\text{int}}^m / \sigma_{\text{int}}^g$

Для фотоядерных реакций $^{110}\text{Pd}(\gamma, n)^{109m,g}\text{Pd}$, $^{116}\text{Cd}(\gamma, n)^{115m,g}\text{Cd}$, $^{134}\text{Ba}(\gamma, n)^{133m,g}\text{Ba}$, $^{136}\text{Ba}(\gamma, n)^{135m,g}\text{Ba}$, $^{138}\text{Ba}(\gamma, n)^{137m,g}\text{Ba}$ и $^{144}\text{Sm}(\gamma, n)^{143m,g}\text{Sm}$ значений изомерных отношения при $E_{\text{ymax}} = 30$ МэВ определены впервые.

Все ядер возбуждающий в фотоядерных реакции $^{136}\text{Xe}(\gamma, n)^{135m,g}\text{Xe}$, $^{138}\text{Ba}(\gamma, n)^{137m,g}\text{Ba}$, $^{140}\text{Ce}(\gamma, n)^{139m,g}\text{Ce}$, $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141m,g}\text{Nd}$ и $^{144}\text{Sm}(\gamma, n)^{143m,g}\text{Sm}$, имеют одинаковые спины и четности в изомерном и основном состоянии. Кроме того, эти ядер имеют одинаковые число нейтронов т.е. $N=82$.

Для сравнения с экспериментом нами проведены расчет изомерных отношений по статистической модели ядра. Плотность уровней возбужденного ядра оценивалась по формуле [16]:

$$\rho(U, J) = \frac{2J+1}{24\sqrt{2a^{1/4}U^{5/4}\sigma^3}} \cdot \exp\left[2\sqrt{aU} - \frac{(J+1/2)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (2)$$

где σ - параметр ограничения спина, a - параметр плотности уровней, U - энергии возбуждения, под которой понимается эффективная энергия [2],

Улучшить количественное согласие расчетов с экспериментом удалось при фиксации параметра спинового ограничения σ . При этом удовлетворительное согласие достигается при $\sigma = (2 \div 3)\hbar$. Полученные результаты приведены в табл. 2.

Экспериментальные результаты полученные в настоящей работе, могут быть использованы для оценка аналитических возможностей гамма-активационного анализа, при планировании экспериментов по изучению изомерных отношений в фотоядерных реакциях и при изучению механизм реакций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гангрский Ю.П., Тончев А.П., Балабанов Н.П. // ЭЧАЯ. 1996. Т. 27. Вып. 4. С. 1043.
2. Мазур В.М. // ЭЧАЯ. 2000. Т. 31. Вып. 2. С. 1043.
3. Паланов С.Р. // ЯФ. 2014. Т. 77. № 1. С. 1.
4. C. Lederer, V. Shirley. Table of Isotopes (New York, John Wiley & Sons, Inc., 1978).
5. R. Vanska, R. Rieppo, Nucl. Instrum. Meth. 179, 525(1981).
6. S.S. Dietrich, B.L. Berman, Atomic Data and Nucl. Data Tabl. 38, 199(1988).
7. L. Katz, A.G. Cameron, Can. J. Phys. 29, 518 (1951).
8. S.C. Fultz, R.R. Bramblett, J.T. Candvell, R.R. Harvey, Phys. Rev. 133, 1149(1964).
9. А.Г. Белов, Ю.П. Гангрский, А.П. Тончев, Н.П. Балабанов, Ядерная физика 59, 57(1996).
10. Hong Dac Luc, Tran Duc Theip, Truong Thi An, Phan An. Bulg. J. Phys. 14, 153(1987).
11. Аракелян А.А., Данагулян А.С., Демехина Н.А. – Тезисы докл. Межд. Сов. По ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1992, с.245.
12. С.Р. Палванов, О. Раджабов, Атомная энергия 87, 75(1999).
13. H. Fuchs, R. Kosiek, U. Meyer-Berkhout, Z. Phys. 166, 590(1962).
14. Желтоножский В.А., Мазур В.М., Биган Э.М. Тезисы докл. 41-го сов. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Ленинград, Наука, 1991), с.293.
15. М.Г.Давыдов, В. Г.Магера, А.В. Трухов, Атомная энергия 62, 236, (1987).
16. Белов А.Б., Гангрский Ю.П., Тончев А.П., Балабанов Н.П. Возбуждение изомерных состояний $1h_{11/2}$ в реакциях (γ, n) . // Ядерная физика, 2006, т. 59, № 4, с. 585 – 591