Исследование возбуждения изомерных состояний в реакциях (γ,n) и (n,2n) на ядрах ^{81}Br и ^{92}Mo

С.Р. Палванов[1], Ф.Р. Эгамова[*,1], М.И. Мамаюсупова[1], Г.С. Палванова[1], М.М. Ахмедов[2]

[1]Физико-технический институт АН РУз, ул. Ч. Айтматова 2б, 100084, Ташкент, Узбекистан
[2]Ургенчский государственный университет, Аль Хорезмий 110, 220100, Ургенч, Узбекистан

Получена 28.05.2021

* Corresponding author: e-mail: feruza.egamova90@gmail.com, Phone: +998 97 701 1728, Fax: +998 94 616 1728

Методом наведенной активности измерены сечения образования изомерных состояний в реакциях (γ,n) и (n,2n) на ядрах ^{81}Br. Получены энергетические зависимости изомерного отношения выходов реакций (γ, n) в области энергий 14–35 МэВ с шагом 1 МэВ. С помощью программного пакета TALYS-1.6 рассчитаны сечения реакций ^{92}Mo(γ,n)^{91m}Mo в области энергий 12–21 МэВ. Результаты экспериментов сравниваются с данными других работ и расчетом TALYS-1.6.

Ключевые слова: ядерные реакции, изомерные отношения, тормозное излучение, радиоактивность, сечение, активность, изомер, ядро.

The cross sections for the formation of isomeric states in the reactions (γ, n) and (n, 2n) on the ^{81}Br nuclei were measured by the induced activity method. The energy dependences of the isomeric ratio of the yields of reactions (γ, n) in the energy range of 14–35 MeV with a step of 1 MeV are obtained. The TALYS-1.6 software package was used to calculate the ^{92}Mo(γ,n)^{91m}Mo reaction cross sections in the energy range 12–21 MeV. The experimental results are compared with the data of other works and the TALYS-1.6 calculation.

Keywords: nuclear reactions, isomeric ratios, bremsstrahlung, radioactivity, cross section, activity, isomer, nucleus.

I. Введение

Исследования возбуждения изомерных состояний в различных ядерных реакциях имеют фундаментальное и прикладное значения. Изомерные отношения, т.е. отношения выходов и сечений реакций образования остаточных ядер в изомерном и основном состояниях, зависят от спина ядра-мишени и вносимого углового момента, который определяется массой и энергией бомбардирующей частицы, а также механизмом реакции, свойствами возбужденных состояний как в непрерывной, так и в дискретной областях [1-5]. Таким образом, по данным об изомерных отношениях исследуются механизмы ядерных реакций и статистические свойства возбужденных состояний атомных ядер. Важное значение имеет изучение образования изомерных состояний ядер в ядерных реакциях с различными бомбардирующими частицами, которые позволяют получать сведения о механизмах ядерных реакций и о свойствах возбужденных состояний атомных ядер.

Особенно интересным является изучение ядерных реакций типа (n,2n) и (γ,n) на ядрах с $74 \leq A \leq 92$. В этой области наблюдается ядерная деформация вытянутого типа. Ядра ^{81}Br и ^{92}Mo с количеством нейтронов 50 находятся в этой области и являются объектом активного исследования как структуры уровней, так и изомерных отношений в реакциях (n,2n) и (γ,n) [6].

Сечения и изомерные отношения реакций типа (γ,n) на ядре ^{81}Br слабо изучены. Имеется всего одна работа [7], посвященная определению сечений образования в области энергий

13–25 МэВ, в которой также определены изомерные отношения выходов реакции ^{81}Br(γ,n)^{80}Br. Изомерные отношения выходов фотоядерных реакций (γ,n) также изучены в работах [8, 9]. В них изомерные отношения выходов определены при фиксированной энергии, при максимальной энергии тормозного излучения 22 МэВ [8], 25 и 35 МэВ [9]. В случае ядра ^{92}Mo эксперимен-тальные данные по изучению сечений возбуждений изомерных состояний в реакции (n,2n) и (γ,n) в области энергий 14–30 МэВ недостаточны для получения полной картины заселений этих состояний.

В настоящей работе методом наведенной активности исследовано сечение возбуждения изомерных состояний ^{80m}Br в ядерной реакции (n,2n) при энергии нейтронов 14.1 МэВ. Определена энергетическая зависимость изомерного отношения выходов реакции типа (γ,n) на ядре ^{81}Br в области энергий 12–35 МэВ с шагом 1 МэВ. Также получены сечения реакций ^{92}Mo(γ,n)^{91m}Mo.

II. Методика эксперимента

Исследования проводили на нейтронном генераторе НГ-150 Института ядерной физики АН РУз [10]. В качестве исходных экспериментальных данных по реакции (γ,n) служил атлас гамма-спектров радионуклидов, полученных в фотоядерных реакциях в области энергий 10–35 МэВ с шагом 1 МэВ на тормозном γ-пучке бетатрона [11]. Временные режимы, т.е. время облучения, паузы и измерения выбрали в соответствии с периодом полураспада образующихся радионуклидов. В качестве мишени использован NaBr высокой чистоты (99.9%) в природной смеси изотопов брома, прессованный в виде диска с диаметром 20 мм. Каждый образец NaBr помещался между двумя медными фольгами (в случае нейтронного облучения использовали алюминиевую фольгу). Масса образцов составляла 3–5 г.

Нейтронный генератор НГ-150 генерирует потоки быстрых нейтронов с энергиями ~2.4 и 14 МэВ из реакций D+d$\rightarrow^3$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} нейтрон·с$^{-1}$ [10]. Время облучения нейтронным потоком с энергией 14.1 МэВ составляет 30 мин.

Наведенную активность мишеней измеряли на γ-спектрометре фирмы “Canberra”, состоящем из германиевого детектора HPGe (с относительной эффективностью 15% и разрешением для линии ^{60}Co 1332 кэВ – 1.8 кэВ), цифрового анализатора DSA 1000 и персонального компьютера с програм-мным пакетом Genie 2000 для набора и обработки γ-спектров. Гамма-спектрометр по энергии калибровали с помощью стандартного набора источников: Mn-54, Co-57, Co-60, Cd-109, Ba-133, Cs-137, Eu-152, Pb-210, Am-241. Измерения выполняли в стандартной геометрии, в которой градуировали детектор по эффективности. Гамма-спектры мишеней начинали измерять после паузы 5–60 мин в течение 30–120 мин.

Заселение изомерного и основного уровней идентифицировали по γ-линиям. Спектроскопические характеристики ядер-продуктов реакций (γ,n) и (n,2n), необходимые для обработки результатов измерений, взяты из [12] и приведены в табл. 1, где I^π – спин и четность уровня, $T_{1/2}$ – период полураспада ядра, I_γ – интенсивность γ-квантов данной энергии на распад, p – коэффициент ветвления γ-перехода.

Таблица 1. Спектроскопические характеристики ядер-продуктов реакции (γ, n) и (n, 2n).

Product nucleus	J^π	$T_{1/2}$	E_γ, keV	I_γ, %	p
^{80m}Br	5^-	4.42 h	37.0	39.1	1
^{80g}Br	1^+	17.6 m	616.0	7.20	

Изомерные отношения выходов рассчитывали по формуле [13]:

$$d=\frac{Y_m}{Y_g}=\left[\frac{\lambda_g F_m(t)}{\lambda_m F_g(t)}\left(C\frac{N_g I_m \varepsilon_m}{N_m I_g \varepsilon_g}-p\frac{\lambda_g}{\lambda_g-\lambda_m}\right)+p\frac{\lambda_m}{\lambda_g-\lambda_m}\right]^{-1},$$

где

$$F_m(t)=\left[1-\exp(-\lambda_m t_o)\right]\exp(-\lambda_m t_n)\left[1-\exp(-\lambda_m t_c)\right],$$
$$F_g(t)=\left[1-\exp(-\lambda_g t_o)\right]\exp(-\lambda_g t_n)\left[1-\exp(-\lambda_g t_c)\right],$$

λ_m, λ_g – постоянные распада соответственно изомерного и основного состояний; C – коэффициент, учитывающий просчеты регистрирующей аппаратуры и положение импульсов; N_m, N_g – число зарегистрированных актов распада соответственно изомерного и основного состояний; I – интенсивность γ-квантов данной энергии на распад; ε – эффективность спектрометра; p – коэффициент ветвления γ-перехода; t_0, t_n, t_c – время облучения, паузы и измерения соответственно. В случае (n,2n) вместо выражений Y_m/Y_g используются отношения σ_m/σ_g.

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

В нейтронном генераторе пучок нейтронов является моноэнергетическим, поэтому непосредственно можно измерить изомерные отношения сечений реакций.

III. Результаты и их обсуждение

III.1. Реакция (γ,n)

Полученные экспериментальные изомерные отношения выходов и сечений реакций (γ,n) и (n,2n) на ядре ^{81}Br приведены на рисунке и в табл. 2 и 3. Абсолютная ошибка измерений изомерных отношений выходов определяется статистической погрешностью счетов в фотопике измеряемой γ-линии и эффективностью регистрации γ-излучения.

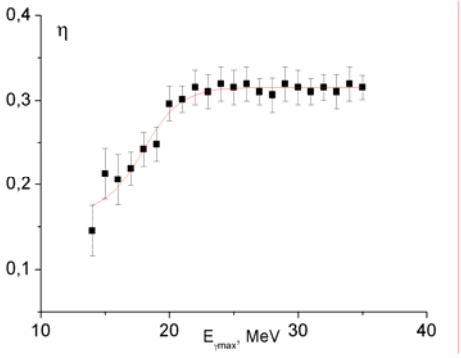


Рисунок. Энергетическая зависимость изомерного отношения выходов реакции ^{81}Br(γ,n)^{80m,g}Br.

На рисунке показана энергетическая зависимость изомерного отношения выходов реакции ^{81}Br(γ,n)^{80m,g}Br. Как видно из рисунка, значение изомерных отношений выходов $\eta(E_{\gamma max})=Y_m/(Y_m+Y_g)$ растет от порога реакции до 20 МэВ. Возможно, это связано с тем, что с ростом энергии увеличивается число каскадных γ-переходов, снимающих возбуждение ядра. При энергии выше 20 МэВ функция $\eta(E_{\gamma max})$ имеет вид кривой насыщения. Для аппроксимации экспериментальных данных по изомерным отношениям выходов использовали сигмоидальную ("ступенькообразную») функцию Больцмана (сплошная кривая):

$$y = A_2 + \frac{A_1 - A_2}{1 + \exp\left[(E - E_0)/\Delta E\right]}, \qquad (1)$$

где A_1, A_2, E_0 и ΔE – подгоночные параметры, которые определяли методом наименьших квадратов по набору экспериментальных значений. В результате получены следующие значения для ядра ^{81}Br:

A_1=–0.16622±0.01782; A_2=0.31485±0.00249; E_0=(17.94±0.48) МэВ и ΔE=(1.45±030) МэВ.

В табл. 2 и 3 приведены экспериментальные результаты наших измерений в сравнении с ранее полученными данными. В табл. 2 данные об изомерных отношениях выходов реакций приведены в виде $\eta=Y_m/(Y_m+Y_g)$. Как видно, результаты всех работ по изомерным отношениям для реакции ^{81}Br(γ,n)^{80m,g}Br в диапазоне энергии 15–25 МэВ в пределах погрешностей согласуются. В области энергий возбуждения выше гигантского дипольного резонанса, т.е. в области 25–35 МэВ, энергетическая зависимость изомерных отношений выходов реакции ^{81}Br(γ,n)^{80m,g}Br определена впервые.

Таблица 2. Изомерные отношения выходов реакций ^{81}Br(γ,n)^{80m,g}Br.

$E_{\gamma max}$ или E_γ, МэВ	η	Источник
22	0.32±0.02	[8]
22	0.32±0.01	[7]
25	0.32±0.02	[9]
30	0.32±0.01	[9]
25	0.32±0.02	Наст. работа
30	0.32±0.02	Наст. работа
35	0.32±0.01	Наст. работа

Для получения абсолютных значений сечений реакции использовали метод сравнения выходов и сечений исследуемой и мониторной реакций [1]. Для мониторной реакции ^{65}Cu(γ,n)^{64}Cu использовали наиболее современные данные из работы [14], полученные в измерениях на пучке квазимонохроматических фотонов. Полученные значения выходов Y_m реакции ^{81}Br(γ,n)^{80m}Br пересчитаны на сечения соответствующих реакций [1].

Экспериментальная зависимость сечений реакции ^{81}Br(γ,n)^{80m}Br от граничной энергии тормозных квантов аппроксимировали функцией Лоренца, параметры которой (положение максимума сечения E_m, значение сечения в максимуме σ_m и ширина распределения на половине его высоты Г) определяли методом наименьших квадратов по набору экспериментальных значений. Параметры аппроксимации и интегральные сечения реакции приведены в табл. 3. Погрешности оценены исходя из статистики зарегистрированных отчетов.

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

Таблица 3. Сечение реакции $^{81}Br(\gamma,n)^{80m,g}Br$.

Реакция	E_m, МэВ	Г, МэВ	σ_m, мб	σ_{int}, МэВ·мб	E_h, МэВ	Источник
$^{81}Br(\gamma,n)^{80m}Br$	17.2±0.1	6±1	75±7	969±331	19	[6]
$^{81}Br(\gamma,n)^{80m}Br^*$	17.28±0.04	5.14±0.24	31	279±17	25	Наст. работа
$^{81}Br(\gamma,n)^{80m}Br$	17.28±0.03	5.33±0.17	42±4	410±17	25	Наст. работа
$^{92}Mo(\gamma,n)^{91m}Mo^*$	17.03±0.04	2.74±0.18	79±4	352±26	21	Наст. работа
$^{92}Mo(\gamma,n)^{91m}Mo$	16.97	2.54	100	420	18	[6]

Примечание. *Расчет сечений проводили по программе TALYS-1.6. σ_{int} – интегральное сечение реакции, E_h – верхний предел интегрирования.

Для оценки и сравнения экспериментальных результатов нами проведен расчет сечения реакции с помощью программного пакета TALYS-1.6 [15, 16]. Для распределения γ-квантов по энергии $W(E_\gamma, E_{\gamma max})$ использовали спектр Шиффа [17, 18]. Результаты теоретических расчетов приведены также в табл. 3. Как видно из табл. 3, положения максимума сечения E_m и ширина распределения на половине его высоты Г в пределах погрешности измерений согласуются между собой. Значения сечения в максимуме σ_m отличаются друг от друга. Наши экспериментальные результаты близки к теоретическим значениям, полученным с помощью пакета программ TALYS-1.6. Интегральные сечения σ_{int} реакций отличаются друг от друга из-за разных значений предела интегрирования и значений сечения в максимуме. Энергетическое положение максимума сечения реакции $^{81}Br(\gamma,n)^{80m}Br$ в пределах погрешности совпадает с энергией гигантского дипольного резонанса ^{81}Br, определяемой эмпирическим соотношению E_m =75 $A^{-1/3}$, которое равно 17.3 МэВ.

Область энергии, которая охватывает резонансную форму дипольного поглощения, составляет от порога реакций до 25 МэВ (95% охватывает).

Как видно из табл. 3, информации по параметрам гигантского дипольного резонанса недостаточно для подробного анализа этих реакций. В работе [6] сечение реакции $^{81}Br(\gamma,n)^{80m}Br$ определено в интервале энергий 12–20 МэВ, т.е. не охватывает полностью область гигантского резонанса. Поэтому значение ширины гигантского резонанса имеет большое отклонение. Наши результаты по ширине и положению резонанса совпадают в области экспериментальных ошибок с данными работы [6] и с результатами расчета. Значения максимума сечений отличаются друг от друга. Наши результаты по сечению близки к значениям, полученным с помощью программного пакета TALYS-1.6.

В табл. 3 также приведены данные по сечениям реакций $^{92}Mo(\gamma,n)^{91m}Mo$, которые рассчитаны с помощью программного пакета TALYS-1.6. Здесь также приведены данные работы [6], в которой сечения реакций $^{92}Mo(\gamma,n)^{91m}Mo$ определены в области энергий гамма-квантов, не охватывающей область гигантского дипольного резонанса для этой реакции. Поэтому в этой таблице не приведены параметры гигантского дипольного резонанса для этой работы.

III.2. Реакция (n,2n)

В случае реакции (n,2n) (табл. 4) данные всех экспериментальных работ в пределах погрешностей измерений согласуются. Здесь также приведены расчетные данные сечения реакции, проведенные с помощью программного пакета TALYS-1.6. Результаты теоретических расчетов для сечений образования изомерных состояний, относительно результатов других работ, несколько занижены.

Для получения абсолютных значений сечений основного и изомерного состояний σ_m и σ_g использовали методы сравнения выходов исследуемой и мониторной реакции. В качестве мониторной реакции использовали $^{27}Al(n,\alpha)^{24}Na$ ($T_{1/2}$=15 ч, E_γ=1368 кэВ), сечение которой равно: σ_m = 121.57±0.57 мбн при E_n =14.1 МэВ [19]. Полученные значения приведены в таб.4. Исходными данными для этого расчёта являются площадь гамма-линии и их ядерно-физические характеристики, которые приведены в табл.1. и сечения мониторных реакций.

Абсолютная ошибка изомерных отношений сечений реакций определяется статистической погрешностью счетов в фотопике измеряемой γ-линии, эффективностью регистрации γ-излучения

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

и ошибкой значений сечений мониторных реакций.

Таблица 4. Сечение реакции ^{81}Br(n,2n)^{80m,g} Br.

E_n, МэВ	σ_m, мб	σ_g, мб	Источник
14.0*	615	361	Настоящая работа
14.5*	650	375	Настоящая работа
14.1	737±46	391±47	Настоящая работа
14.1	735±48	381±43	[20]
14.6	763±57	–	[20]
14.1	743±38	–	[21]
14.8	751±47	–	[21]

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

По формуле (1) определено изомерное отношение сечения реакции (n,2n), которое равно: 1.93±0.12. Этот результат с учетом экспериментальных ошибок совпадает с данными работы [22]: 1.93±0.12.

Общая схема протекания реакции предполагается следующей: вначале происходит поглощение дипольного γ-кванта на ядре с образованием составного ядра, затем происходит испарение нейтрона с образованием возбужденного состояния конечного ядра. Возбуждение дочернего ядра снимается каскадным испусканием γ-квантов с образованием в итоге основного или изомерного состояния конечного ядра.

Плотность ядерных уровней рассчитывали по формуле Бета-Блоха [4, 23-25], спиновая часть которой имеет вид:

$$\rho(J) = (2J+1)\exp\left[-(J+1/2)^2 / 2\sigma^2\right].$$

Улучшить количественное согласие расчетов с экспериментом удалось при фиксации параметра спинового ограничения σ. При этом удовлетворительное согласие достигается при $\sigma = 2.5\hbar$.

IV. Заключение

Из анализа данных, приведенных в табл. 2 и 3, следует, что экспериментальные исследования возбуждения изомерных состояний в фотоядерных реакциях типа (γ,n) на ядрах ^{81}Br и ^{92}Mo проводили в основном в области энергий 10–25 МэВ, т.е. в области гигантского дипольного резонанса. В области энергий, выше гигантского резонанса, энергетическая зависимость изомерных отношений мало изучена. Благодаря этим исследованиям, можно получить информацию о плотности ядерных уровней и о вкладе прямых процессов в механизм фотоядерных реакций в данной области энергий.

Благодарности. В заключение автор выражает благодарность М. Каюмову и О. Жураеву за облучение образцов на нейтронном генераторе, Ж. Рахмонову за помощь в измерениях, С.В. Артемову за полезные обсуждения.

Исследования проводили при поддержке гранта ОТ-F2-12 Министерства инновационного развития Республики Узбекистан.

Метаданные

Investigation of isomeric state's excitation in the reactions (γ, n) and (n, 2n) on the ^{81}Br and ^{92}Mo nuclei

S.R. Palvanov[1], F.R. Egamova[1], M.I. Mamayusupova[1], G.S. Palvanova[1], M.M. Akhmedov[2]

[1]Physical-technical institute of the Uzbekistan Academy of Sciences, Chingiz Aytmatov Str., 2B, 100084 Tashkent, Uzbekistan

[2]Urgench State University, Al-Khorezmi str. 110, 220100, Urgench, Uzbekistan

The cross sections for the formation of isomeric states in the reactions (γ, n) and (n, 2n) on the ^{81}Br nuclei were measured by the induced activity method. The energy dependences of the isomeric ratio of the yields of reactions (γ, n) in the energy range of 14–35 MeV with a step of 1 MeV are obtained. The TALYS-1.6 software package was used to calculate the ^{92}Mo(γ,n)^{91m}Mo reaction cross sections in the energy range 12–21 MeV. The experimental results are compared with the data of other works and the TALYS-1.6 calculation.

Keywords: nuclear reactions, isomeric ratios, bremsstrahlung, radioactivity, cross section, activity, isomer,

Литература (References)

[1] Yu.P. Gangrskiı, A.P. Tonchev, and N.P. Balabanov, Fiz. Elem. Chastits At. Yadra **27**, 1043 (1996) [Phys. Part. Nucl. **27**, 428 (1996)].

[2] A.S. Danagulyan, G.H. Hovhannisyan, T.M. Bakhshiyan, R.H. Avagyan, A.E. Avetisyan, I.A. Kerobyan, R.K. Dallakyan. Physics of Atomic Nuclei **78**, No.4, 447 (2015).

[3] J.R. Huizenga, R. Vandenbosch. Phys. Rev. **120**, 1305 (1960).

[4] L.Ya. Arifov, B.S. Mazitov, V.G. Ulanov. Yadernaya fizika **34**, 1028 (1981).

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.

[5] D. Kolev, E. Dobreva, N. Nenov, and V. Todorov,.Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A **356**, 390 (1995).
[6] V.M. Mazur. Fiz. Elem. Chastits At. Yadra **31**, No.2, 1043 (2000); [Phys. Part. Nucl. (Engl. Transl.) **31**, No.2, 188 (2000)].
[7] V.M. Mazur, V.S. Bokhinyuk, Z.M. Bigan, I.V. Sokolyuk. Ukrainskiy fizicheskiy zhurnal No.37, 1632 (1992).
[8] M.G. Davydov, V.G. Magera, and A.V. A.V. Turukhov. Atomic Energy .**62**, No.4, 232 (1987).
[9] S.R. Palvanov, O. Razhabov, Atomic Energy **87**, 533 (1999).
[10] http://www.inp.uz.
[11] S.R. Polvonov. J. Nucl. Phys. **90**, No.5, 567 (2013).
[12] R.B. Firestone, V.S. Shirley, C.M. Baglin, Table of isotopes CD-ROM, 8-th Ed. (1996).
[13] R. Vänska, R. Rieppo. The experimental isomeric cross-sections ratio in the nuclear activation technique. Nucl. Instrum. Methods **179**, 525-532 (1981).
[14] A.V. Varlamov, V.V. Varlamov, D.S Rudenko, M.E. Stepanov. Atlas of Giant Dipole Resonances. INDS 394, (IAEA, Vienna, 1999).
[15] A.J. Koning, S. Hilaire, M.C. Duijvestijn TALYS-1.0. Proc. of the Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology. Eds. O. Bersillon, F. Gunsing, E. Bauge, R. Jacqmin, S. Leray ND 2007 (Nice, France April 22 -27, 2007). EDP Sciences 211-214 (2008).
[16]] www.talys.eu
[17] L.I. Schiff Energy-angle distribution of thin target bremsstrahlung. Phys. Rev. **83**, 252-253 (1951).
[18] O.V. Bogdankevich, F.A. Nikolaev. Methods in Bremsstrahlung Research (New York, Academic Press, 1966).
[19] H. Vonach. The $^{27}Al(n,\alpha)^{24}Na$ Cross Section. Nuclear Data Standards for Nuclear Measurements 1991 NEANDC/INDC. Nuclear Energy Agency Organization for Economic co-operation and Development, p.75-77. www.oecd-nea.org › neandc1991-311-u. (1992).
[20] Z. Liangyong, L. Changlin, F. Kaihong. Some cross-sections of Bromine isotopes induced by 14 MeV neutrons. Annals of Nuclear Energy **36**, 874 (2009).
[21] Chang-Lin Lan. Activation cross-section measurements for producing short-lived nuclei with 14 MeV neutrons Ge, Pd, Yb. Journal RPCC News Letter **77**, 854 (2008).
[22] F.I. Hallani, I.F. Ahmed. Journal Applied Radiation and Isotopes **51**, 81 (1999).
[23] Z.M. Bigan, V.M. Mazur, Z.Z. Topich. Izomernye otnosheniya v reaktsiyakh (γ,n) na tyazhelykh yadrakh. (Riev, 1984). (КИЯИ-64-10).
[24] A.V. Malyshev. Plotnost' urovney i struktura atomnykh yader (Moskva, Atomizdat, 1969).
[25] V.M. Mazur, Z.M. Bigan, D.M. Symochko. Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics **37**, 035101 (2010).

^{81}Br ва ^{92}Mo ядролардаги (γ,n) ва (n,2n) реакцияларда изомер ҳолатларнинг уйғонишини ўрганиш

С.Р. Палванов[1], Ф.Р. Эгамова[1], М.И. Мамаюсупова[1], Г.С. Палванова[1], М.М. Аҳмедов[2]

[1]Ўзбекистон Миллий университети, Университет кўчаси 4, 100174, Тошкент, Ўзбекистон
[2]Урганч давлат университети, Ҳ.Олимжон кўчаси 14, 220100, Урганч, Ўзбекистон

Киритилган активлик методи билан ^{81}Br ядродаги (γ,n) ва (n,2n) реакцияларда изомер ҳолатлар ҳосил бўлиш кесими ўлчанган. Энергиянинг 14–35 МэВ соҳасида 1 МэВ қадам билан (γ,n) реакция изомер чиқишларининг энергетик боғланиши олинган. TALYS-1.6 дастурлаш пакети ёрдамида 12–21 МэВ энергиялар соҳасида $^{92}Mo(\gamma,n)^{91m}Mo$ реакция кесими ҳисобланган. Тажриба натижалари бошқа иш натижалари ва TALYS-1.6 ҳисоблаш натижалари билан солиштирилади.

Калит сўзлар: ядро реакцияси, изомер нисбатлар, тормозланиш нурланишлар, радиоактивлик, кесим, активлик, изомер, ядро.

© Академия наук Республики Узбекистан, Ташкент, 2021 г.