

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

РЗ-84-370

Ю.М.Гледенов, А.Жак, С.Маринова, М.Митриков,
Ю.П.Попов, Фунг Ван Зуан, И.Чадраабал

СПЕКТРЫ α -ЧАСТИЦ В РЕЗОНАНСАХ РЕАКЦИИ
 ${}^{67}\text{Zn}(n,\alpha){}^{64}\text{Ni}$ И ВОПРОС ОБ ОТСУТСТВИИ
 α_0 -ПЕРЕХОДОВ В ЭТОЙ РЕАКЦИИ
НА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНАХ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1984

ВВЕДЕНИЕ

В области средних и тяжелых ядер анализ нейтронных сечений ведется, как правило, с помощью одноуровневой формулы Брейта - Вигнера без учета влияния соседних уровней, поскольку здесь средние расстояния между нейтронными резонансами много больше полных ширин резонансов. Если на основании такого подхода сравнивать результаты измерений парциальных сечений реакции ${}^{67}\text{Zn}(n, \alpha_i){}^{64}\text{Ni}$ на тепловых нейтронах $\sigma_{th}(n, \alpha_i)^{1/1}$ с расчетами по формуле Брейта-Вигнера этого сечения $\sigma_{th}^{PE3}(n, \alpha_i)$ /используя известные параметры нейтронных резонансов вплоть до энергии 4 кэВ^{2/} и значения полных α -ширин, полученные в^{3,4/} без анализа α -частиц по энергии/, то на первый взгляд имеется удовлетворительное согласие $\sigma_{th}(n, \alpha_0) \leq 10$ мкб и $\sigma_{th}(n, \alpha_1) = 160$ мкб с $\sigma_{th}^{PE3}(n, \alpha) = 200$ мкб /основной вклад дают резонансы с $E_0 = 1546$ и 3789 эВ/. Однако из такого "согласия" следует, что в резонансах с $E_0 = 1546$ и 3789 эВ ширины α -переходов в первое возбужденное состояние Γ_{α_1} должны на порядок превышать α -ширины переходов в основное состояние Γ_{α_0} , тогда как по статистической теории из-за различия в проницаемости кулоновского барьера для α -частиц с $E_{\alpha_0} = 4,6$ и $E_{\alpha_1} = 3,3$ МэВ отношение ширин должно быть обратным: $\langle \Gamma_{\alpha_0} \rangle / \langle \Gamma_{\alpha_1} \rangle \approx 300$. С другой стороны, измеренное отношение сечений $\sigma_{th}(n, \alpha_0)$ и $\sigma_{th}(n, \alpha_1)$ в тепловой области^{1/} может быть обусловлено существенной деструктивной интерференцией между резонансами в канале α_0 , приводящей к уменьшению $\sigma_{th}(n, \alpha_0)$ более чем на порядок.

В эксперименте такие эффекты при α -распаде нейтронных резонансов еще не наблюдались.

Мы предприняли серию измерений спектров α -частиц из реакции ${}^{67}\text{Zn}(n, \alpha_i){}^{64}\text{Ni}$ в отдельных резонансах с целью разделения вкладов отдельных резонансов в сечения $\sigma_{th}^{PE3}(n, \alpha_0)$ и $\sigma_{th}^{PE3}(n, \alpha_1)$ и выяснения причин создавшейся ситуации.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения спектров α -частиц из реакции ${}^{67}\text{Zn}(n, \alpha)$ выполнялись на импульсном реакторе ИБР-30, работавшем совместно с линейным ускорителем электронов. Анализ нейтронов по энергии осуществлялся по методу времени пролета. В первых измерениях в качестве детектора заряженных частиц использовалась двухсекцион-

Таблица 1

№ пп	Установка	Обогащение, %	Площадь мишеней, см ²	Толщина слоя соединения, мг/см ²	Временное разрешение, мкс/м	Детектор
1.	ИБР-30 + ЛУЭ-40	91,8	630	1,2	0,05	ИК /5/
2.	ИБР-30 + ЛУЭ-40	91,8	2400	0,2	0,05	ЦИК /6/
3.	ИБР-30 + ЛУЭ-40	91,8	3200	0,2	0,13	ЦИК /6/
4.	ЛУЭ "Факел"	91,8	2500	2,97	0,0025	ПК /4/
5.	ИБР-30 + ЛУЭ-40	87,9	1800	3,75	0,05	ПК /3/
6.	ИБР-30 + ЛУЭ-40	87,9	3600	3,75	0,017	ПК /3/

ная ионизационная камера с сеткой /ИК/ /5/, а в дальнейшем - цилиндрическая ионизационная камера с сеткой /ЦИК/ /6/. С целью снижения фона детекторов на пучках нейтронов в исследуемом диапазоне энергий $E_{\alpha} = 3 \div 5$ МэВ в качестве рабочего газа использовалась смесь $Ar + 3\% CO_2$.

Мишени представляли собой нанесенные на алюминиевые подложки слои ZnO с обогащением по изотопу $^{67}Zn \approx 90\%$. Характеристики мишеней и некоторые данные об условиях экспериментов приведены в табл.1.

Энергетическая калибровка спектра проводилась по α -пикам с энергией 4,8 и 4,2 МэВ от уранового источника, который на время измерений на пучке нейтронов выводился из рабочего объема камеры.

В измерениях на ИК параллельно с исследуемым изотопом проводилась регистрация потока нейтронов с помощью тонкой литиевой мишени. Схема измерений приведена на рис.1. Для получения значений парциальных α_i -ширин резонансов ^{67}Zn использовалось следующее выражение:

$$\Gamma_{\alpha_i} = A \cdot \frac{\Gamma}{g\Gamma_n} \cdot \frac{n_{Li}}{n_{Zn}} \cdot \frac{N_{\alpha_i}}{N_t} \quad /1/$$

В формулах /1/, /2/: A, B - постоянные; E_0, Γ_n, Γ - энергия, нейтронная и полная ширины резонанса; Φ - поток нейтронов; n - число ядер мишеней; N_t, N_{α_i} - выход тритонов и α -частиц из реакции; g - статистический фактор.

Измерения на ЦИК проводились по аналогичной схеме, только в этом случае пучок нейтронов был сформирован в виде кольца

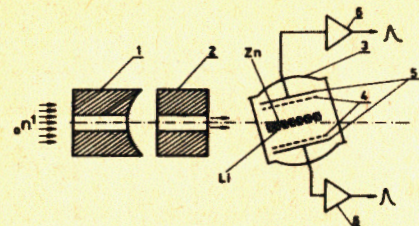


Рис.1. Схема эксперимента:
1 - нейтроновод, 2 - целевой свинцовый коллиматор, 3 - двухсекционная ионизационная камера, 4 - сетки, 5 - коллекторы, 6 - предусилители.

шириной 20 мм и внутренним диаметром 240 мм /подробнее см. /6/ /. Мишень, совмещенная с высоковольтным электродом, имела форму поверхности усеченного конуса. Площадь этой мишени в 5 раз больше, чем в ИК, что позволило значительно уменьшить толщину мишени и тем самым улучшить амплитудное разрешение при регистрации α -частиц в реакции $^{67}Zn(n, \alpha)^{64}Ni$. α -ширины при этом определялись относительным методом; в качестве опорного выбран резонанс при $E_0 = 750$ эВ, для которого $\Gamma_{\alpha_0} = 224 \pm 45$ мкэВ бралась как средняя из измерений на ИК и работы /3/.

$$\Gamma_{\alpha_i} = B \cdot \frac{\Gamma}{g\Gamma_n} \cdot \frac{E_0}{\Phi} \cdot N_{\alpha_i} \quad /2/$$

Параметры резонансов взяты из /2/. Двумерная информация: об энергии заряженных частиц и о времени пролета нейтронов - записывалась на магнитную ленту измерительного модуля на базе мини-ЭВМ "Электроника 100-16И". Сортировка и обработка данных проводилась на ЭВМ СДС-6500.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате измерений получены амплитудные спектры α -частиц во временных окнах, соответствующих резонансам реакции $^{67}Zn(n, \alpha_i)^{64}Ni$. Спектры резонансов /3,8; 1,5; 0,75 и 0,22 кэВ/ приведены на рис.2 и 3 /стрелками обозначены энергии α_0 - и α_1 -переходов/. Получены также спектры выходов α -частиц от времени пролета в определенных амплитудных окнах, соответствующих α_0 - и α_1 -переходам /рис.4/.

Такие исследования позволяют уточнить спиновую идентификацию нейтронных резонансов /2/. При захвате s -нейтронов /с нулевым орбитальным моментом/ ядром ^{67}Zn со спином $5/2^-$ могут образовываться нейтронные резонансы с $J^\pi = 3^-$ и 2^- . Согласно законам сохранения момента и четности в α -распаде, переходы α_0 / α -переход в основное состояние ^{64}Ni с $J^\pi = 0^+$ / возможны только в резонансах с $J^\pi = 3^-$, переходы α_1 - в резонансах 3^- и 2^- /рис.5/. Результаты определения спинов по наличию α_0 -перехода представлены в столбце 3 табл. 2. В столбцах 4,5 этой таблицы

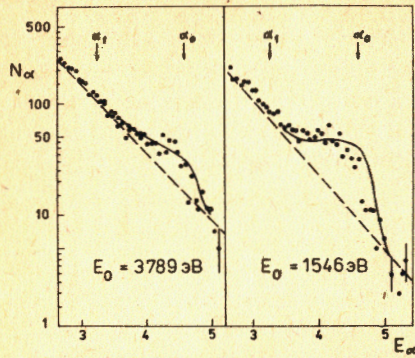


Рис.2. Амплитудные спектры резонансов при $E_0 = 3789$ и 1546 эВ; точки - эксперимент, пунктирная кривая - фон, сплошная кривая - расчетный спектр α -частиц, нормированный по площади; E_α в МэВ /измерение 1 в табл.1/.

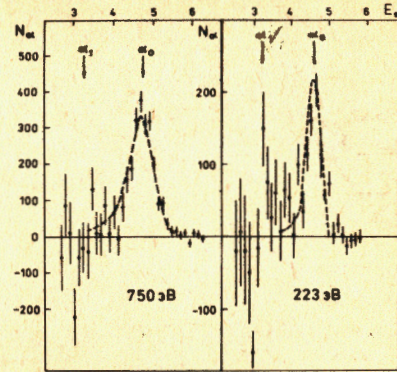


Рис.3. Амплитудные спектры резонансов при $E_0 = 750$ и 223 эВ; точки - эксперимент, пунктирная кривая - расчетный спектр α -частиц; E_α в МэВ /измерение 3 в табл.2/.

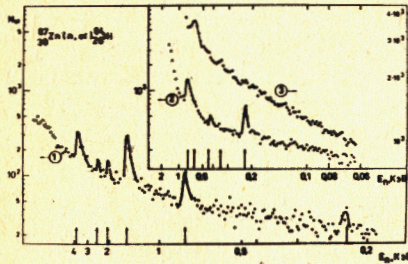


Рис.4. Временные спектры α -частиц из реакции $^{67}\text{Zn}(n, \alpha)$ в амплитудных окнах: 1. В окне a_0 - измерение 1 в табл.1. 2. В окне a_0 - измерение 3 в табл. 1. 3. В окне a_1 - измерение 3 в табл.1.

приведены полученные нами значения парциальных α -ширин резонансов, а в 7-м столбце - их вклад в тепловое сечение в предположении, что они являются s-резонансами, согласно ^{2/}. Помимо известных резонансов ^{2/} в наших измерениях в амплитудном окне a_1 -переходов появилось указание на наличие слабого резонанса с $E_0 = 342$ эВ.

В столбце 6 табл.2 приведены значения полных α -ширин резонансов, полученные нами на основе данных ^{3/} и ^{4/}. При этом учтены новые параметры нейтронных резонансов $/E_0, g\Gamma_n, \Gamma /$ ^{2/} и проведена перенормировка α -ширин по резонансу с $E_0 = 750$ эВ. Можно отметить удовлетворительное согласие всех имеющихся данных по α -ширинам резонансов ^{67}Zn . Имеется также и хорошее согласие величины $\langle \Gamma_{\alpha_0} \rangle_{\text{эк}} = 570 \pm 300$ мкэВ, полученной усреднением α_0 -ширин 7 резонансов ^{67}Zn с рассчитанным по кластерной модели

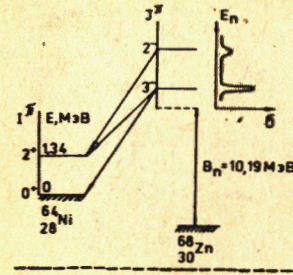


Рис.5. Схема α -распада компаунд-ядра ^{68}Zn .

Таблица 2

E_0 , эВ	J^π		$\Gamma_{\alpha 1}$, мкэВ	$\Gamma_{\alpha 0}$, мкэВ	Γ_α , мкэВ	$G_{\text{th}}(n, \alpha_0)$, мкбарн
	/2/	наши данные				
- 337	3	-	-	-	-	-
223	2	3	-	$2,6 \pm 1,0$	$2,2 \pm 0,4$	8
(342)	-	(2)	$(2,5 \pm 1,0)^*$	-	-	-
448	3	3	-	$1,4 \pm 0,7$	-	8
587	2	(2)	35 ± 10	-	-	-
750	2	3	-	224 ± 45	224 ± 45	4
1320	2	-	-	-	-	-
1546	3	3	(65)	690 ± 140	905 ± 335	154
1780	-	(3)	-	(43)*	$(40 \pm 12)^*$	-
2068	2	3	-	195 ± 100	275 ± 80	5
2125	3	-	-	-	-	-
2245	2	-	-	-	(70)	-
2420	2	-	-	-	-	-
2469	3	3	-	170 ± 100	330 ± 95	21
2650	2	-	-	-	-	-
3424	3	-	-	-	-	-
3789	3	3	-	2490 ± 690	2835 ± 750	170

*

В предположении $\Gamma_n = \Gamma$

$$\sum \sigma_{\text{th}}^{\text{рез.}}(n, \alpha_0) = 370,$$

$$\sigma_{\text{th}}(n, \alpha_0) < 10^{1,7/}.$$

α -распада значением $\langle \Gamma_{\alpha_0} \rangle_{\text{кл.}} = 670 \text{ мкЭВ /см.}^{1/3} /$. Наши данные о наличии в резонансах сильных α_0 -переходов снимают предположение о нарушении статистических закономерностей для переходов α_0 и α_1 в резонансах ^{67}Zn , подтверждая, что $\langle \Gamma_{\alpha_0} \rangle \gg \langle \Gamma_{\alpha_1} \rangle$. В то же время имеется явное различие между величиной теплового сечения $\sigma_{\text{th}}(n, \alpha_0)$, измеренной в Гренобле ^{1,7/}, и $\sigma_{\text{th}}(n, \alpha_0)$, рассчитанной по нашим данным /табл.2/ с использованием известных нейтронных параметров ^{2/}. Маловероятным кажется предположение, что резонансы $E_0 = 1546$ и 3789 эВ, обладающие нейтронными ширинами 10 и 30 эВ соответственно, могут оказаться образованными р-нейтронами.

В связи с изложенным представляется целесообразным провести новые измерения парциальных сечений реакции $^{67}\text{Zn}(n, \alpha)$ в тепловой точке. И если они подтвердят результаты ^{1,7/}, то причину отсутствия α_0 -переходов в реакции $^{67}\text{Zn}(n, \alpha)$ на тепловых нейтронах можно надеяться установить после проведения детальных исследований поведения $\sigma(n, \alpha_0)$ и $\sigma(n, \alpha_1)$ в окрестностях тепловой точки, а также на "крыльях" сильных резонансов с $E_0 = 1546$ и 3789 эВ, интерференция между которыми/или их интерференция с "отрицательным" резонансом/ могла бы существенно подавить парциальное сечение $\sigma_{\text{th}}(n, \alpha_0)$ в тепловой точке.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Т.С.Зваровой за изготовление мишеней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Emsallem A. These, Lion, 1979; Asghar M., Emsallem A. In: Neutron Capture Gamma-Ray Spectroscopy. Ed. by R.Chrien and W.Kane. Plenum Press, N.Y., 1979, p. 549.
2. Neutron Cross Sections, Academic Press 1981, vol. 1, part A.
3. Антонов А. и др. ЯФ, 1978, т. 27, с. 18.
4. Антонов А. и др. Ядерные константы, М., 1981, т.1/40/.
5. Попов Ю.П. и др. ЯФ, 1971, т. 13, с. 913.
6. Анджеевски Ю. и др. ОИЯИ, 13-12458, Дубна, 1979.
7. Emsallem A. et al. Z.Phys. A, 1984, vol. 315, No. 2, p. 201.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 мая 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
301000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

P3-84-370

Гледенов Ю.М. и др.
Спектры α -частиц в резонансах реакции $^{67}\text{Zn}(n,\alpha)^{64}\text{Ni}$ и вопрос об отсутствии a_0 -переходов в этой реакции на тепловых нейтронах

Приведены результаты измерений спектров α -частиц в семи отдельных резонансах ^{67}Zn и показано наличие в них a_0 -переходов. Эти данные снимают предположение о нарушении статистических закономерностей для переходов a_0 и a_1 в резонансах ^{67}Zn . Обсуждаются возможные причины различия более чем на порядок между величиной экспериментального сечения реакции $^{67}\text{Zn}(n,\alpha_0)$ на тепловых нейтронах и его значением, оцененным по формуле Брейта-Вигнера по известным параметрам нейтронных резонансов ^{67}Zn .

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод авторов

P3-84-370

Gledenov Yu.M. et al.
 α -Particle Spectra in the $^{67}\text{Zn}(n,\alpha)^{64}\text{Ni}$ Reaction Resonances and the Problem of Absence of a_0 -Transitions in This Reaction on Thermal Neutrons

The results of measurements of α -particles spectra in seven separate ^{67}Zn resonances are given and the presence of a_0 -transitions in them is shown. These data decline the assumption of violation of statistical regularities for a_0 and a_1 transitions in ^{67}Zn resonances. The possible causes of the difference more than an order between the values of the experimental cross section of the reaction $^{67}\text{Zn}(n,\alpha_0)$ on thermal neutrons and its value with known parameters of neutron ^{67}Zn resonances according to the Breit-Vigner formula are discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984