

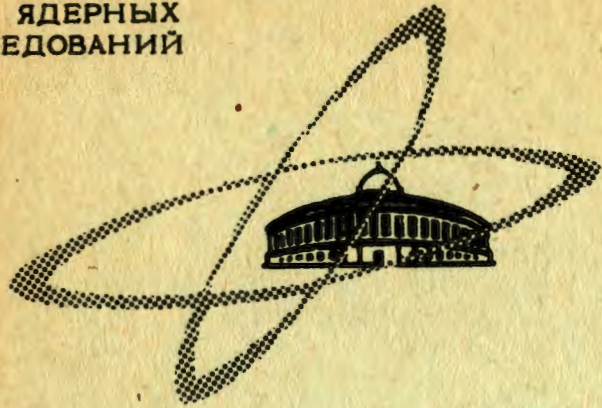
M-217

50/XII-62

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P3 - 4152



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Х.Малэцки, Л.Б.Пикельнер, И.М.Саламатин,
Э.И.Шарапов

НЕЙТРОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ ИЗОТОПОВ
 ^{69}Ga И ^{71}Ga

1968

РЗ - 4152

Х.Малэцки, Л.Б.Пикельнер, И.М.Саламатин,
Э.И.Шарапов

НЕЙТРОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ ИЗОТОПОВ

^{69}Ga и ^{71}Ga



Данная работа является продолжением цикла исследований нейтронных сечений ядер среднего атомного веса /1/.

В кругу проблем, возникающих при исследовании резонансных параметров уровней, возбуждаемых медленными нейтронами, важным является вопрос о спиновой зависимости силовой функции S_0 и длины потенциального рассеяния R' . На возможное проявление этой зависимости указывают результаты ряда экспериментальных работ (например, /2,3/), однако данные эти пока отрывочные в основном из-за ограниченной информации о спинах J уровней. В области ядер с атомным весом $A \approx 50 + 80$ наиболее резкое различие $S_0(J_1)$ и $S_0(J_2)$ было обнаружено авторами /2/ для ядер ^{77}Se и ^{69}Ga .

Исследование нейтронных резонансов галлия в области энергии нейтронов до ≈ 700 эв с использованием обогащенных изотопов было проведено группой в Аргонне /4/.

В более поздней работе, выполненной в Сакле на образцах из естественной смеси изотопов /2/, исследованный энергетический интервал для ^{69}Ga был расширен до 2,5 кэв. Радиационные ширины были найдены лишь для резонансов при энергии 334 эв (^{69}Ga) и 705 эв (^{71}Ga). В результате проведенной спиновой идентификации все резонансы ^{69}Ga , дающие существенный вклад в величину силовой функции, были отнесены к системе уровней со спином $J = 2$. На основании этого был сделан вывод о различии $S_0(J_1)$ и $S_0(J_2)$ у ^{69}Ga .

Как указывается в работе /3/, различие значений S_0 для систем уровней с разными спинами может проявиться для динамически деформированных ядер в области $3s$ гигантского резонанса, особенно при

высоком спине основного состояния мишени. Фирк и другие считали, что связь спина налетающей частицы со спином мишени может быть введена в оптический потенциал по аналогии с членом, описывающим зависимость потенциала от изотопического спина.

Количественная теоретическая оценка возможной спиновой зависимости S_0 усложнена и отчасти поэтому до сих пор не получена. С этой точки зрения экспериментальные данные, касающиеся вопроса спиновой зависимости силовой функции, представляют интерес для теории.

Условия измерений и методика обработки данных

Измерения пропускания, самоиндикации и радиационного захвата нейтронов были проведены на реакторе ИБР в режиме работы с микротроном. При полуширине нейтронного импульса 3 мксек и частоте следования 50 герц интегральный выход составлял $3 \cdot 10^{13}$ н/сек. В табл. 1 приведены характеристики образцов, изготовленных из окиси галлия (Ga_2O_3).

Пропускание в области энергии нейтронов $\approx (0,3 + 6)$ кэв измерялось для двух толщин образцов сцинтилляционным детектором, установленным на расстоянии 1000 м от источника нейтронов. Кроме того, было измерено пропускание образца с толщиной 0,00184 ядер элемента/барн для области энергии нейтронов $\approx (20 + 500)$ эв. Пролетное расстояние при этом составляло 250 м.

Аппаратурные спектры измерены со стандартной ошибкой не хуже 2% на канал в районе 1 кэв при ширине канала 2 мксек. Полученные кривые абсолютного пропускания обрабатывались методом площадей /5/ с учетом интерференции между резонансным и потенциальным рассеянием при фиксированном значении радиационной ширины Γ_γ . При этом значение $\Gamma_\gamma = 0,260$ эв было принято для всех резонансов обоих изотопов на основании проведенных измерений радиационного захвата. Следует отметить, что полученные значения $g\Gamma_n$ очень слабо зависят от принятой величины Γ_γ . В ряде случаев нейтронные ширины найдены методом формы /5/.

В измерениях радиационного захвата был использован жидкостный сцинтиляционный детектор большого объема, состоящий из двух баков, установленный на пролетной базе 242 м. Эффективность регистрации детектором актов радиационного захвата в режиме совпадения импульсов от двух баков составляла $E_{\text{сов.}} = 33\%$ для ^{69}Ga и 25% для ^{71}Ga . Постоянство эффективности для ряда резонансов данного изотопа было проверено по отношению числа отсчетов по резонансу в режимах совпадений и суммирования импульсов от двух баков.

Методика получения информации о радиационных ширинах и спинах уровней из измерений радиационного захвата аналогична описанной в работе /1/. В данном методе возможные систематические ошибки в определении потока нейтронов и эффективности детектора не влияют на определение спина.

Результаты и обсуждение

1. Резонансные параметры. На основании проведенных измерений найдены изотопная принадлежность и значения $g\Gamma_n$ для 50 уровней двух изотопов Ga , для 18 резонансов с $\Gamma_n > \Gamma_\gamma$ определены спины J и полные радиационные ширины Γ_γ (см. табл. 2). Погрешности Γ_γ указаны с учетом неопределенности в калибровке детектора, оцениваемой в $10 + 15\%$. Изотопная принадлежность резонансов была определена из измерений радиационного захвата на разделенных изотопах в диапазоне энергии нейтронов от 80 эв до 6 кэв. При энергии нейтронов 4810 эв, как это следует из проведенных измерений радиационного захвата, у обоих изотопов есть уровни с нейтронной шириной $\Gamma_n > \Gamma_\gamma$. Приведенное в табл. 2 значение $g\Gamma_n$ соответствует условному распределению наблюдаемой в пропускании площади поровну между этими двумя резонансами. Возможно, что наблюдаемые выше 5000 эв резонансы ^{69}Ga не являются одиночными, поэтому параметры для них не приведены.

Сопоставление полученных $g\Gamma_n$ с известными параметрами 12 уровней /2/ показывает хорошее согласие. Исключение составляет резонанс 1525 эв, который ранее ошибочно приписывался изотопу ^{69}Ga .

В табл. 3 приведены два набора значений Γ_γ (со статистическими ошибками), соответствующие двум возможным значениям спина, полученные подобно тому, как это было сделано в работе /1/.

Если предположить равенство радиационных ширин для двух спиновых состояний, то на основании таблицы 3 спиновая идентификация получается однозначно и приведена в колонке 7. Можно ограничиться более слабым требованием постоянства радиационных ширин для уровней одной спиновой системы. В этом случае разбиение всех резонансов по спинам на две группы будет таким же, как указано в колонке 7, но остается неизвестным, какой группе который спин соответствует. Тогда для того, чтобы приписать спин каждой группе, необходимо использовать надежные данные о спине хотя бы одного уровня, полученные независимым методом.

Экспериментальным подтверждением правильности значений спинов, приведенных в колонке 7, служит независимо полученная величина спина уровня 96 эв и совпадение значений спинов для 6 (из 8) уровней с результатами работы /2/, которые приведены в колонке 8.

Для резонансов при энергии 1636 и 2452 эв изотопа ^{69}Ca наши результаты по спиновой идентификации противоречат известным данным. На рисунке приведен участок аппаратурного спектра радиационного захвата, измеренный с образцом ^{69}Ca . Даже при визуальном сравнении площадей близких по энергии резонансов 1636 и 1579 эв (у обоих $\Gamma_n \gg \Gamma_\gamma$) видно, что их спины различны, поскольку искомые площади пропорциональны g -фактору.

2. Усредненные параметры ядер. При рассмотрении табл. 2 обращает на себя внимание большое количество очень слабых уровней. Согласно распределению Портера-Томаса вероятность попадания уровня с шириной Γ_{n1}^0 в интервал значений $0 < \Gamma_{n1}^0 / \bar{\Gamma}_n^0 < 0,02$ составляет 11%. Однако в эксперименте таких уровней обнаружено 12 для ^{69}Ca и 10 для ^{71}Ca при полном числе уровней 27 и 23 соответственно. На основании этого следует считать, что большинство слабых резонансов, отмеченных звездочкой в табл. 2, является p -волновыми. Они были исключены из рассмотрения при определении средних параметров

для s -волны. Дополнительным критерием разделения резонансов на s - и p -волновые явилось сравнение приведенных нейтронных ширин со средним значением $\langle \sigma_g \Gamma_n^1 \rangle_{\ell=1}$ для p -волновых уровней. Разброс ширин $\sigma_g \Gamma_n^1$ выделенных звездочками резонансов оказался в пределах фактора 3 вокруг значения $\langle \sigma_g \Gamma_n^1 \rangle_{\ell=1} = 40$ мэв (для энергии 1 кэв), вычисленного на основании известных значений силовой функции S_1 для p -волновых резонансов и среднего расстояния между уровнями.

Проведенная спиновая идентификация сильных уровней позволяет определить S_0 для двух спиновых систем резонансов. Значения $S_0(J)$, вычисленные как $\sum_i \Gamma_{ni}^0 / \Delta E$, где суммирование ведется по уровням с одинаковым J , приведены в табл. 4. Ошибки вычислены по методике, предложенной в /6/. Полученные значения силовых функций для двух спиновых состояний не дают оснований для заключения об их различии, предположенном в работе /2/ на основании более бедного экспериментального материала.

Средние по двум спиновым системам силовые функции ($S_0 = \sum \sigma_g \Gamma_n^0 / \Delta E$), приведенные в табл. 4, хорошо согласуются с результатами работы /7/, в которой найдены значения S_0 из усредненных сечений.

Полученные данные не противоречат результатам для соседних ядер и теоретическому расчету /8/, учитывающему динамическую деформацию ядер.

В табл. 4 приведены средние расстояния \bar{D} наб. между s -резонансами, полученные из гистограмм нарастания числа уровней в зависимости от энергии. Параметр a плотности одночастичных состояний вычислен по формуле Бете для энергии возбуждения 7,64 Мэв и 6,52 Мэв ^{70}Ga и ^{72}Ga соответственно с учетом результатов работы /9/.

Средние значения радиационных ширин $\bar{\Gamma}_\gamma$, найденные по 9 резонансам для каждого изотопа, в пределах ошибок измерений совпадают между собой и близки к значениям, полученным для соседних ядер /1/.

В заключение мы хотим поблагодарить В.С. Золотарева и его сотрудников за любезно предоставленные изотопы.

Л и т е р а т у р а

1. X. Малэцки, Л.Б. Пикельнер, И.М. Саламатин, Э.И. Шарапов. Препринт ОИЯИ, P3-3956, Дубна, 1968.
2. J.Julien, G.Bianchi, C.Corge et al. *Phys. Lett.*, 10, 86 (1964); *Nuclear Data for Reactors*, I, 205 (IAEA, Vienna, 1967).
3. F.W.K.Firk, J.E.Lynn, M.C.Moxon. *Proc. Phys. Soc.*, 82, 477 (1963).
4. R.R.Palmer and L.M.Bollinger. *Phys. Rev.*, 102, 228 (1955).
5. И.И. Шелонцев, Н.Ю. Ширикова. Препринт ОИЯИ, 5-3263, Дубна, 1967.
6. D.D.Slavinskas and T.J.Kennett. *Nucl. Phys.*, 85, 641 (1966).
7. R.E.Cote, L.M.Bollinger, J.M.LeBlanc. *Phys. Rev.*, 111, 288 (1958).
8. B.Buck and F.Pery. *Phys. Rev. Lett.*, 8, 444 (1962).
9. U.Facchini, E.Saetta-Menichella. *Energia Nucleare*, 15, 54 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел

13 ноября 1968 года.

Таблица I

Характеристики использованных образцов ⁶³

Атомный вес основного изотопа ⁶³	69	71	Естественная смесь изотопов (толщина указана в ядрах элемента /барн),	
Содержание основного изотопа, %	99,16	98,44	—	—
Толщина в измерениях пропускания, ядер/барн.	—	—	0,0186 (545)	0,00463 (136) 0,00184 (33,1)
Толщина в измерениях ^(α, γ) ядер изотопа/барн.	0,00313 (6,94)	0,00152(3,48)	0,00184 (33,1)	0,00514 (92)
Измерения самониди-нации.	—	—	0,00184(33,1)	—
Толщина детекторного образца.	—	—	0,00184(33,1)	—
Толщина пропускания этого образца.	—	—	0,00203 (74)	—

В скобках указан вес образца по элементу, в граммах.

Таблица 2.

Параметры нейтронных резонансов изотопов галлия

Ядро- мишень	E_0 , эВ	ΔE , эВ	J	$\sigma_{\text{гГ}}^{\text{н}}$, эВ	$\Delta_{\text{гГ}}^{\text{н}}$, эВ	Γ_{γ} , эВ	$\Delta\Gamma_{\gamma}$, эВ
1	2	3	4	5	6	7	8
⁶⁹ Ga	III	0,5	2	0,034	0,003	0,270	0,06
	334	0,7		0,12	0,025		
	473	I	I	0,072	0,010	0,260	0,060
	532 ^ж	2		0,0021	0,0004		
	611 ^ж	2		0,0026	0,0004		
	692	2	2	0,77	0,11	0,270	0,040
	941 ^ж	3		0,0026	0,0005		
	1252 ^ж	5		0,0035	0,0010		
	1354	5	2	0,17	0,03	0,290	0,060
	1579	6	2	1,20	0,24	0,260	0,040
	1636	7	I	1,8	0,16	0,260	0,040
	1866	9	2	1,5	0,24	0,250	0,040
	1906 ^ж	9		0,006	0,003		
	1994 ^ж	10		0,006	0,003		
	2167 ^ж	II		0,0075	0,0022		
	2452	13	I	4,5	0,5	0,290	0,040
	2989 ^ж	19		0,04	0,02		
	3084	20		0,11	0,04		
	3377 ^ж	22		0,01	0,005		
	3497	22	2	11,2	1,0	0,260	0,040
	3739 ^ж	26		0,012	0,005		
	3873 ^ж	28		0,020	0,006		
	3970 ^ж	30		0,01	0,007		
	4206	30		0,83	0,30		
	4361	32		0,94	0,40		
	4556	35		0,2	0,1		
	4810	37		~9			
	5280	42					
	5666	46					
	5877	50					

	1	2	3	4	5	6	7	8
⁷¹ Ca	95,8	0,4	2	0,062	0,012	0,260	0,060	
	287,5	1,7	2	3,9	0,5	0,240	0,040	
	376	0,8	1	1,37	0,11	0,240	0,030	
	705	2	2	0,28	0,04	0,230	0,035	
	1092 ^ж	4		0,0050	0,0014			
	1135 ^ж	9		0,0074	0,0022			
	1481 ^ж	13		0,007	0,004			
	1525	7	2	2,04	0,25	0,220	0,035	
	1870 ^ж	9		0,008	0,004			
	1930	10	1	0,28	0,08	0,220	0,040	
	2400	12	1	2,1	0,4	0,250	0,040	
	2784	16	2	0,76	0,14	0,230	0,035	
	2880 ^ж	18		0,04	0,02			
	3110 ^ж	10		0,03	0,02			
	3200 ^ж	20		0,06	0,03			
	3311	20	1	2,0	0,4	0,240	0,035	
	3400 ^ж	23		0,06	0,03			
	3510 ^ж	24		0,02	0,01			
	3790 ^ж	28		0,02	0,01			
	4170	30		0,09	0,06			
	4690	36		0,6	0,30			
	4810	38		~ 9				
	5054	40		6,1	1,3			

ж Предполагаемые р - волновые резонансы.

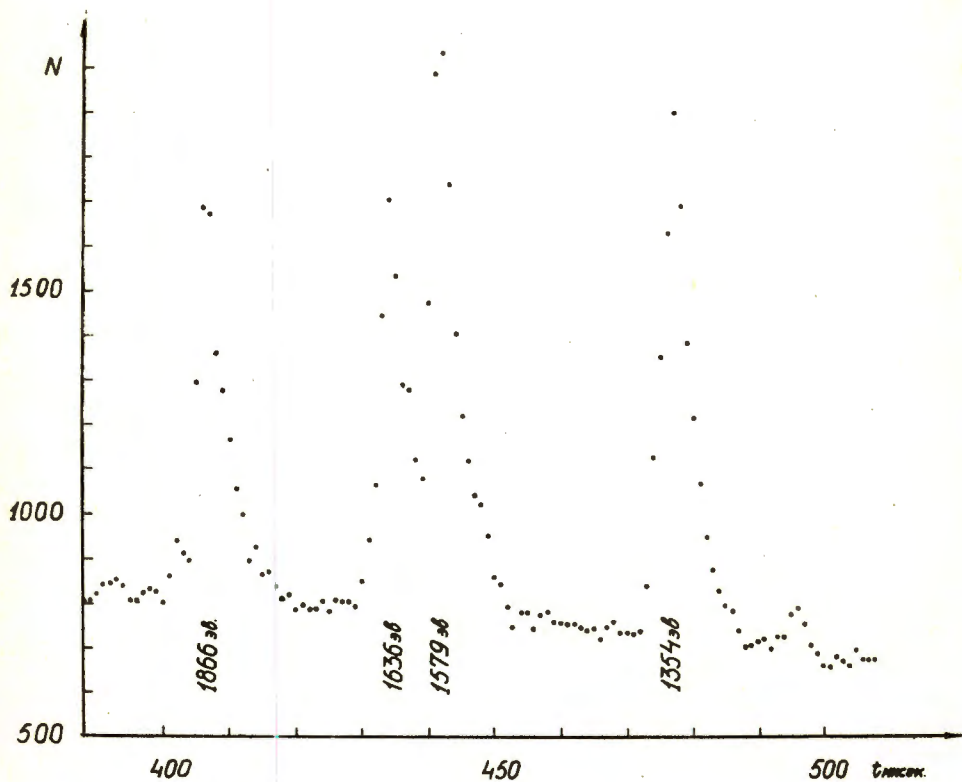
Таблица 3

Изотоп	E ₀ , эВ	Для J = 2		Для J = 1		Данная работа	Из работы [2]
		Г _γ , мэВ	ΔГ _γ , мэВ	Г _γ , мэВ	ΔГ _γ , мэВ		
1	2	3	4	5	6	7	8
⁶⁹ Ga	III	270	30	350	40	2	
	473	160	20	260	30	1	
	692	270	15	370	20	2	2
	1354	290	30	420	40	2	2
	1579	265	15	395	20	2	
	1636	180	10	260	15	1	2
	1866	255	30	390	45	2	2
	2452	200	30	290	45	1	2
	3497	260	40	390	60	2	
⁷¹ Ga	95,8	260	30	350	50	2	
	287,5	240	30	360	70	2	2
	376	165	15	240	20	1	1
	705	230	35	370	60	2	2
	1525	220	35	340	50	2	
	1930	130	25	220	40	1	
	2400	160	25	255	40	1	
	2784	230	35	380	60	2	
	3311	150	25	240	40	1	

Таблица 4

Средние параметры для изотопов галлия

Изотоп Ga	$s_{0,1-1}, 10^{-4}$	$s_{0,1-2}, 10^{-4}$	$s_0, 10^{-4}$	\bar{n} наб, эВ	$\bar{a},$ МэВ ⁻¹	$\bar{\Gamma}_\gamma,$ эВ
69	1,0 $\begin{smallmatrix} +2 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$	1,1 $\begin{smallmatrix} +1 \\ -0,4 \end{smallmatrix}$	1,1 $\begin{smallmatrix} +0,9 \\ -0,3 \end{smallmatrix}$	230 \pm 55	11,2 \pm 0,3	0,27 \pm 0,04
71	1,3 $\begin{smallmatrix} +2,5 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$	1,5 $\begin{smallmatrix} +2 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$	1,4 $\begin{smallmatrix} +1,3 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$	330 \pm 70	12,3 \pm 0,3	0,24 \pm 0,04



Участок аппаратного спектра радиационного захвата, измеренный с образцом ^{69}Ga толщиной 0,00313 яд/барн.