

10
п 99



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория теоретической физики

Н.И.Пятов, В.Г.Соловьев

P -1209

ДВУХКВАЗИЧАСТИЧНЫЕ УРОВНИ И ВЕРОЯТНОСТИ

β -ПЕРЕХОДОВ В ИЗОТОПАХ Sm, Gd И Dy

Изв. АН СССР, сер. физ., 1964, т.28, №1,
стр. 11-17.

Дубна 1963 год

Н.И.Пятов, В.Г.Соловьев

P -1209

ДВУХКВАЗИЧАСТИЧНЫЕ УРОВНИ И ВЕРОЯТНОСТИ

β -ПЕРЕХОДОВ В ИЗОТОПАХ *Sm*, *Gd* И *Dy*

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963г.

184/3 ч.8.

А н н о т а ц и я

Проведены расчеты спектров и вероятностей β -переходов в ядрах с использованием новых данных по спектрам нечетных ядер в этой области. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными и дают возможность дальнейшего анализа спектров ядер в этой области.

N.I.Pyatov, V.G.Soloviev

TWO-QUASI-PARTICLE LEVELS AND β -TRANSITION PROBABILITIES IN THE Sm, Gd, AND Dy ISOTOPES

Abstract

The spectra and β -transition probabilities in the nuclei with $A < 160$ were calculated by using new data on the spectra of odd nuclei in this region. The results obtained are in good agreement with the experimental data and allow a further analysis of the nuclear spectra in this region.

В^{1/} были проанализированы экспериментальные данные по сильнодеформированным четно-четным ядрам в области $150 < A < 190$ и вычислены относительные вероятности β -переходов и энергии двухквaziчастичных возбужденных состояний для ядер в области $160 < A < 182$ и для Gd^{156} в качестве исключения. Расчеты не были проведены для сильнодеформированных ядер с $A < 160$ и $A > 182$ из-за того, что в этих областях не было известно поведение уровней среднего поля, особенно в нейтронной системе. В последнее время опубликованы новые экспериментальные данные по уровням нечетных ядер^{/2-6/}, которые позволили установить положение уровней среднего поля для ядер с $A \leq 160$. В связи с этим появилась возможность вычислить энергии двухквaziчастичных уровней ряда изотопов Sm , Gd и Dy и относительные вероятности β -переходов для ядер с $152 \leq A < 160$, что и сделано в настоящей работе.

Положение уровней среднего поля, представленное в таблице 1, было установлено на основании экспериментальных данных по одноквaziчастичным уровням нечетных ядер. Поведение уровней среднего поля $N = 83, 85$ и 87 и $Z = 55, 57$ и 59 не подтверждено соответствующими экспериментальными данными, так же, как и положение уровня $11/2 - /505/$. Ввиду того, что $3/2 - /521/$ приписывается как основному состоянию системы с 91 нейтроном, так и основному состоянию системы с 93 нейтронами, поэтому при расчетах ядер с $N = 93$ и 94 изменялся порядок уровней $3/2 - /521/$ и $5/2 + /642/$ по сравнению с расположением, данным в таблице 1. Значения корреляционных функций C , химических потенциалов λ и энергий основных и возбужденных состояний протонных и нейтронных систем, рассчитаны таким же путем, как в^{/7/}. Константы парного взаимодействия взяты равными $G_Z = 0,023 \hbar \omega_0$, $G_N = 0,021 \hbar \omega_0$ ($\hbar \omega_0 = 41A^{-1/3}$ Мэв), что согласуется с их значениями в других областях сильнодеформированных ядер. В таблице 2 представим величины корреляционных функций и химических потенциалов для основных состояний нейтронных и протонных систем. В этой таблице приведем экспериментальные и теоретические значения парных энергий, вычисленные по формуле

$$P_N(Z, N) = 2\epsilon(Z, N - 1) - \epsilon(Z, N - 2) - \epsilon(Z, N).$$

Были вычислены энергии двухквaziчастичных возбужденных состояний для ядер с числом нейтронов, равным 90, 92 и 94, и с числом протонов, равным 62, 64 и 66, а также значения $\log ft_{\text{теор}}$ для соответствующих β -переходов. Результаты расчетов представим в таблицах 3-10. В первой графе таблиц 3-10 дадим конфигурации возбужденных состояний, в графе 2 запишем $K\pi$, причем сначала их значения для состояний с $\Sigma = 0$, которые, согласно правила Галлахера, имеют меньшую энергию, а ниже - с $\Sigma = 1$. В графе 3 поместим рассчитанные и опытные значения энергий этих уровней. В правой стороне каждой таблицы представим классификацию, экспериментальные значения $\log ft_{\text{экс}}$, а в скобках - рассчитанные значения $\log ft_{\text{теор}}$ для соответствующих распадов нечетно-нечетных ядер. Все обозначения такие же, как в^{/1,7/}. Заметим, что в тех случаях, когда для одного из состояний дублета $K\pi = 0^-$, то, как показано в^{/8/}, правило Галлахера нарушается и состояние с $K \neq 0$ всегда имеет более низкую энергию, а сама энергия спинового расщепления

оказывается малой. В этих случаях, помеченных в таблицах 3-10 звездочкой / * /, записаны сначала состояния дублета с меньшей энергией вне зависимости от величины Σ , а ниже - с большей энергией.

Ядра Sm^{152} и Gd^{154} с числом нейтронов, равным 90, находятся на самом краю области сильнодеформированных ядер, поэтому трудно рассчитывать в этом случае на получение хорошего согласия между теорией и экспериментом. Расчеты энергий для этих ядер проведены главным образом для того, чтобы по отступлению опытных данных от расчетных можно было бы судить об особенностях этих ядер. Приведенные здесь данные для Gd^{156} оказались довольно близкими к результатам, полученным в /1/. В случае Gd^{156} установлены конфигурации шести двухквaziчастичных уровней, для которых получено удовлетворительное согласие между рассчитанными и опытными значениями энергий и $\log ft$.

Так вычисление особенностей спинового расщепления /8/ позволило подтвердить интерпретацию состояния 3 - с энергией 193 5 Кэв, как $n \ 651\uparrow + 521\uparrow$ с рассчитанной энергией 1900 Кэв. Даны возможные конфигурации уровней с энергиями 2187 Кэв и 2203 Кэв, а, главное, нет ни одного твердо установленного на опыте уровня, который бы не укладывался в предложенную нами систему уровней.

Следует отметить, что рассчитанные энергии возбужденных состояний системы с данным числом нейтронов /протонов/ одинаковы для всех ядер с этим числом нейтронов. Так, например, мы получим энергии Sm^{154} , если возьмем данные в таблице 3 энергии протонных двухквaziчастичных состояний и приведенные в таблице 7 энергии нейтронных состояний. Для Gd^{158} энергии протонных состояний даны в таблице 8, а энергии нейтронных двухквaziчастичных состояний следует взять из таблицы 11 5 в /1/. Таким образом, в /1/ и в настоящей работе приведены энергии двухквaziчастичных возбужденных состояний всех четно-четных ядер от Sm^{152} до W^{182} включительно.

В дополнение к рассчитанным в /1,7/ значениям приведены в таблицах 11 и 12 новые данные по вероятностям β -переходов, относящиеся к области ядер с $A < 160$. Из таблиц 11 и 12 видно, что теоретические значения $\log ft$ теор. находятся в удовлетворительном согласии с экспериментальными данными, за исключением переходов / $0 - \rightarrow 0 +$ / и / $1 - \rightarrow 0 +$ /. Вычисленные $\log |ft R \eta|$ довольно хорошо укладываются на соответствующие гистограммы, приведенные в /10/.

Таким образом, рассчитанные на основании сверхтекучей модели значения энергий двухквaziчастичных уровней четно-четных ядер и относительные вероятности β -переходов в четных и нечетных ядрах, расположенных вблизи границы области сильнодеформированных ядер с $A < 160$, находятся в удовлетворительном согласии с соответствующими экспериментальными данными, несмотря на то, что в этой области поведение уровней среднего поля является более сложным и менее определенным.

Л и т е р а т у р а

1. C.J.Gallagher, V.G.Soloviev. Mat. Fys. Skr. Dan. Vid. Selsk., 2, n. 2 (1962).
2. В.Нарматз, Т.Н.Хандлей, J.W.Mihelich, Phys. Rev., 128, 1186 (1962).
3. Л.П.Бончев, Б.С.Джелепов, Е.Н.Родин, В.А.Сергиенко. Тезисы XIII совещания по ядерной спектроскопии, 56 . изд. АН СССР 1963 г.
4. А.Абдумаликов, А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Ф.Н.Мухтасимов, Г.Я.Умаров.
Там же, 61 /1963/.
5. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, В.Звольска, И.Звольски, В.Г.Калинников, А.Ф.Новгородов.
Там же, 64 /1963/.
6. R.E.Sund, R.G.Arns, M.L.Wiedenbeck, Phys. Rev., 118, 776 (1960).
7. V.G.Soloviev, Mat. Fys. Skr. Dan. Vid. Selsk., 1, n.11 (1961).
Препринт ОИЯИ, Р-801 /1961/.
8. Н.И.Пятов, Изв. АН СССР. /в печати/.
9. В.Mottelson, S.Nilsson, Mat. Fys. Skr. Dan. Vid. Selsk., 1, n. 8 (1959).
10. В.Г.Соловьев, ЖЭТФ, 43, 246 /1962/.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 февраля 1963 г.

Таблица 1

Одночастичные уровни среднего поля

Нейтронная система			Протонная система		
N	Характеристики уровней	$E(s)$ в ед. $\hbar\omega_0$	Z	Характеристики уровней	$E(s)$ в ед. $\hbar\omega_0$
83	3/2 + [402]	0,825	55	9/2 + [404]	1,080
85	3/2 - [532]	0,850	57	3/2 - [541]	1,100
87	1/2 + [660]	0,900	59	3/2 + [422]	1,200
89	3/2 + [551]	0,950	61	5/2 - [532]	1,310
91	3/2 - [521]	1,000	63	5/2 + [413]	1,360
93	5/2 + [642]	1,040	65	3/2 + [411]	1,420
95	5/2 - [523]	1,080	67	7/2 - [523]	1,480
97	11/2 - [505]	1,160	69	1/2 + [411]	1,560
99	7/2 + [533]	1,260	71	7/2 + [404]	1,670

Таблица 2

Характеристики основных состояний

N	89	90	91	92	93	94	Z	61	62	63	64	65	66
C							C						
$ \hbar\omega_0 $	0,105	0,134	0,106	0,131	0,099	0,126	$ \hbar\omega_0 $	0,081	0,128	0,090	0,129	0,089	0,127
χ							χ						
$ \hbar\omega_0 $	0,954	0,976	1,001	1,024	0,051	1,078	$ \hbar\omega_0 $	1,281	1,325	1,360	1,392	1,425	1,459
P_N теор. МэВ		1,6		1,6		1,5	P_Z теор. МэВ				1,4		1,4
P_N экс. МэВ		2,1(Gd)		1,45(Gd)		1,54(Gd)	P_Z экс. МэВ				1,30		1,0
		2,85(Sm)		2,0(Sm)		1,78(Dy)					(Gd ¹⁵⁶)		(Dy ¹⁶⁰)

Таблица 3
Нейтронные уровни $^{90}_{62}\text{Sm}^{152}$

Конфигурация	КЭ	Энергия (МэВ)		$\text{Eu}^{152} \text{ } 3^- \text{ } p411\uparrow + n521\uparrow$		$\text{Eu}^{152} \text{ } 0^- \text{ } p411\uparrow - n521\uparrow$	
		Вычисл.	Эксперимент.	Классиф.	$\log ft$	Классиф.	$\log ft$
K, K+1 *	3- 0-	1,65		ah	(6,8)	ah	(6,8)
K-1, K+1	1- 2-		(1,511)	ah	(6,2)	ah	6,7
K, K+2	1+ 4+	1,8		1F		1F	
K-1, K	1+ 2+	1,8		1F		1F	
K-1, K+2	2+ 3+	1,9		1F		1F	
K+1, K+2	1- 4-	1,9		ah	(7,4)	ah	(7,4)
K, K+3	4- 1-	2,0		aF		aF	
K+1, K+3	4+ 1+	2,1		1h 1*Λ		1h	

K-1 = 660↑ ; K = 651↑ ; K+1 = 521↑ ; K+2 = 642↑ ; K+3 = 523↑ .

Таблица 4
Протонные уровни $^{90}_{62}\text{Sm}^{152}$

Конфигурация	КЭ	Энергия (МэВ)		$\text{Eu}^{152} \text{ } 0^- \text{ } p411\uparrow - n521\uparrow$		$\text{Eu}^{152} \text{ } 3^- \text{ } p411\uparrow + n521\uparrow$	
		Вычисл.	Эксперимент.	Классиф.	$\log ft$	Классиф.	$\log ft$
K, K+1	5- 0-	1,3		aF			
K, K+2	1- 4-	1,8	(1,511)	ah	6,7(6,75)	ah	(6,4)
K+1, K+2	4+ 1+	2,0		1h		1h 1*Λ	
K-1, K+1	4- 1-	2,1		aF		aF	
K, K+3	1+ 6+	2,2		1F			

K-1 = 541↑ ; K = 532↑ ; K+1 = 413↑ ; K+2 = 411↑ ; K+3 = 723↑ .

Таблица 5
Нейтронные уровни

⁸⁰₆₄Gd¹⁵⁴

Конфигурация	Kπ	Энергия (Мэв)		Eu ¹⁵⁴ 3- p411↑ + n521↑	
		Вычисл.	Эксперимент.	Классиф.	log ft
K, *	3-			ah	(7,4)
K+1	0-	1,6			
K-1,	1-				
K+2	2-	1,7		ah	
K,	1+				
K+2	4+	1,8		1F	
K-1,	1+				
K	2+	1,8		1F	
K-1,	2+			1F	
K+2	3+	1,9		1F	
K+1,	1-				
K+2	4-	1,9		ah	(7,1)
K,	4-			aF	
K+3	1-	2,0			
K+1,	4+			1H	
K+3	1+	2,1		1*Λ	

K-1 = 660↑ ; K = 651↑ ; K+1 = 521↑ ; K+2 = 642↑ ; K+3 = 523↑ .

Таблица 6
Протонные уровни

⁸⁰₆₄Gd¹⁵⁴

Конфигурация	Kπ	Энергия (Мэв)		Eu ¹⁵⁴ 3- p411↑ + n521↑	
		Вычисл.	Эксперимент.	Классиф.	log ft
K,	4+			1h	(9,0)
K+1	1+	1,4			
K-1,	1-				
K+1	4-	1,8		ah	(5,3-5,7)
K,	6-				
K+2	1-	1,8			
K-1,	5-				
K	0-	2,0			
K+1,	2-				
K+2	5-	2,0	(1,723)	aΛ (2)	9,0
K-1,	1+				
K+2	6+	2,0			
K,	2+			1F	
K+3	3+	2,4		1F	
K+1,	2+			1u	
K+3	1+	2,6			

K-1 = 532↑ ; K = 413↑ ; K+1 = 411↑ ; K+2 = 523↑ ; K+3 = 411↑ .

Таблица 7
Нейтронные уровни ⁹²Gd¹⁵⁶

Конфигурация	Kπ	Энергия (Мэв)		^{Eu} ¹⁵⁶ 1- p413↑ - n521↑		^{Tb} ¹⁵⁶ 3- p411↑ + n521↑	
		Вычисл.	Эксперим.	Классиф.	log ft	Классиф.	log ft
K, K+1	1- 4-	1,5	1,242	ah	8,9(7,3)		ah (7,4)
K, K+2	4+ 1+	1,7	1,966	lu	7,2	lh	
K-1, K+1	1+ 4+	1,8		1F		1F	
K+1, K+2	5- 0-	1,8		aF			
K-1,* K	3- 0-	1,9	1,935	ah		ah	6,9(6,9)
K-1, K+2	4- 1-	1,9		aF		aF	
K-2, K+1	2+ 3-	2,1		1F		1F	1F
K-2, K	1- 2-	2,2		ah(Λ)		ah	
K-3, K	3+ 0+	2,3	(2,203)	lh	7,0	lh	

K-3 = 532↑; K-2 = 660↑; K-1 = 651↑; K = 521↑; K+1 = 642↑; K+2 = 523↑

Таблица 8
Протонные уровни ⁹²Gd¹⁵⁶

Конфигурация	Kπ	Энергия (Мэв)		^{Eu} ¹⁵⁶ 1- p413↑ - n521↑		^{Tb} ¹⁵⁶ 3- p411↑ + n521↑	
		Вычисл.	Эксперимент.	Класс.	log ft	Классиф.	log ft
K, K+1	4+ 1+	1,4	1,511 2,026	lu	7,9(7,9)	lh	8,0 (8,5)
K-1, K+1	1- 4-	1,7	2,042	aF		ah	6,1(5,5-5,9)
K, K+2	6- 1-	1,8		a(2)			
K-1, K	5- 0-	2,0		ah	(5,9-6,6)		
K+1, K+2	2- 5-	2,0		aF		a(2)	
K-1, K+2	1+ 6+	2,0		1F			
K, K+3	2+ 3+	2,3		lu		1F	
K+1, K+3	2+ 1+	2,5		1F		1u	1*Λ (1u)
K-2, K	1+ 4+	2,7	(2,187)	lu		1F	

K-2 = 422↑; K-1 = 532↑; K = 413↑; K+1 = 411↑; K+2 = 523↑; K+3 = 411↑

Таблица 9
Нейтронные уровни $^{92}_{66}\text{Dy}^{158}$

Конфигурация p	K π	Энергия (Мэв)		No ¹⁵⁸ 5+ p523† + n521† Классиф.
		Вычисл.	Эксперимент.	
K, K+1	1-	1,5		
	4-			1h
K, K+2	4+		1,672	au
	1+	1,7		
K-1, K+1	1+			
	4+	1,8		aF
K+1, K+2	5-			1F
	0-	1,8		
K-1, K+2	4-			1F
	1-	1,9		
K-1, K *	3-			
	0-	1,9		
K-2, K+1	2+			
	3+	2,1		
K-2, K	1-			
	2-	2,2		

K-2 = 660† ; K-1 = 651† ; K = 521† ; K+1 = 642† ; K+2 = 523† .

Таблица 10
Протонные уровни $^{92}_{66}\text{Dy}^{158}$

Конфигурация	K π	Энергия (Мэв)		No ¹⁵⁸ 5+ p523† + n521† Классиф.
		Вычисл.		
K, K+1	2-			
	5-	1,3		1u
K-1, K+1	6-			1h
	1-	1,8		
K, K+2	2+			
	1+	1,9		
K+1, K+2	4-			1u
	3-	2,1		
K-1, K	4+			aF
	1+	2,1		
K-2, K+1	1+			
	6+	2,1		ah
K-1, K+2	2+			
	3+	2,2		
K-2, K	1-			
	4-	2,4		1F

K-2 = 532† ; K-1 = 413† ; K = 411† ; K+1 = 523† ; K+2 = 411† .

Таблица II

 β - переходы типа ah

Материнское ядро	Состояние	Дочернее ядро	Состояние	Энергия (КэВ)	$R\eta$	$\log ft$ экс.	$\log[ftR\eta]$ экс.	$\log ft$ теор.
$S_z = 3/2 + [411] \rightleftharpoons S_N = 3/2 + [651]$								
64 Gd ¹⁵³	651↑	63Eu ¹⁵³	411↑	103	0,19	7,0 ⁹	<u>6,3</u>	<u>7,0</u>
65 Tb ¹⁵⁵	411↑	64Gd ¹⁵⁵	651↑	86,5	0,20	7,0 ³	6,3	7,0
65 Tb ¹⁵⁶	p411↑ ₃₋ n521↑	64Gd ¹⁵⁶	pp 3- 651↑+ 521↑	1935		6,9 ¹	6,2	7,0
$S_z = 5/2 - [532] \rightleftharpoons S_N = 3/2 - [521]$								
62 Sm ¹⁵⁵	521↑	63Eu ¹⁵⁵	532↑	104	0,13	5,7 ⁶	<u>4,8</u>	<u>5,7</u>
64 Gd ¹⁵⁹	521↑	65Tb ¹⁵⁹	532↑	364	0,04	6,7 ⁹	<u>5,3</u>	6,2
63 Eu ¹⁵²	p411↑ ₀₋ n521↑	62 Sm ¹⁵²	pp 1- 532↑- 411↑	1511	0,01	6,7 ¹	4,7	6,8
65 Tb ¹⁵⁶	p411↑ ₃₋ n521↑	64 Gd ¹⁵⁶	pp 4- 532↑+ 411↑	2045	0,22	6,1 ¹	5,4	5,5

Таблица I2

 β - переходы типа lu, lh

Материнское ядро	Состояние	Дочернее ядро	Состояние	Энергия (КэВ)	$R\eta$	$\log ft$ экс.	$\log[ftR\eta]$ экс.	$\log ft$ теор.
$S_z = 3/2 + [411] \rightleftharpoons S_N = 3/2 - [521]$								
62 Sm ¹⁵³	521↑	63Eu ¹⁵³	411↑	103	0,40	6,8 ⁹	<u>6,4</u>	<u>6,8</u>
62 Sm ¹⁵⁵	521↑	63Eu ¹⁵⁵	411↑	246	0,28	6,8 ⁶	6,3	6,9
63 Eu ¹⁵²	p411↑ ₀₋ n521↑	62 Sm ¹⁵²	0+	0	0,26	8,65 ¹	8,0	7,0
63 Eu ¹⁵⁶	p413↑ ₁₋ n521↑	64 Gd ¹⁵⁶	pp 1+ 413↑ - 411↑	2026	0,03	7,6 ¹	6,4	7,9
$S_z = 5/2 + [413] \rightleftharpoons S_N = 3/2 - [521]$								
63Eu ¹⁵⁵	413↑	64Gd ¹⁵⁵	521↑	0	0,20	7,7 ⁹	<u>7,0</u>	<u>7,7</u>
63Eu ¹⁵⁷	413↑	64Gd ¹⁵⁷	521↑	0	0,27	8,0 ⁹	7,4	7,6
63Eu ¹⁵⁶	p413↑ ₁₋ n521↑	64Gd ¹⁵⁶	0+	0	0,07	9,7 ¹	8,5	8,2
65Tb ¹⁵⁶	p413↑ ₃₋ n521↑	64Gd ¹⁵⁶	pp 4+ 413↑+411↑	1511	0,03	8,0 ¹	6,5	8,5