

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С343r1  
K-228

14/11/75

P3 - 8511

Э.Н.Каржавина, Ким Сек Су, А.Б.Попов,  
Х.Файков

990/2-75

СПИНЫ НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ

<sup>167</sup>Eg и <sup>173</sup>Yb

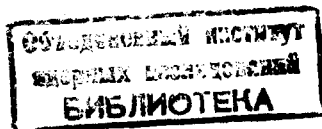
**1975**

РЗ - 8511

Э.Н.Каржавина, Ким Сек Су, А.Б.Попов,  
Х.Файков

СПИНЫ НЕЙТРОННЫХ РЕЗОНАНСОВ

<sup>167</sup>Er и <sup>173</sup>Yb



## ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа является завершением цикла исследований спинов нейтронных резонансов редкоземельных изотопов, проводимых авторами в последние годы /1-4/ методом множественности гамма-квантов /5/.  $^{167}\text{Er}$  и  $^{173}\text{Yb}$  были выбраны в силу нашего традиционного интереса к изучению параметров нейтронных резонансов редкоземельных ядер. Кроме того,  $^{167}\text{Er}$  и  $^{173}\text{Yb}$  - последние четно-нечетные изотопы в этой области, не исследованные детально с целью определения спинов резонансов.

## ИЗМЕРЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Мы не будем останавливаться на описании эксперимента и обработки данных, о чем достаточно подробно сказано в предыдущих работах /1-4/. Для приготовления образцов мы располагали окисью эрбия в количестве 78 г, обогащенной  $^{167}\text{Er}$  до 94,6%, и окисью иттербия, обогащенной  $^{173}\text{Yb}$  до 89,7% и 88,1%, общим весом 60 г.

Измерения с  $^{173}\text{Yb}$  были выполнены для двух толщин образцов / $3,4 \cdot 10^{21}$  и  $1,4 \cdot 10^{21}$  яд/см<sup>2</sup> по  $^{173}\text{Yb}$ /, при этом порог в канале одиночного счета равнялся 2,3 МэВ, в канале совпадений - 0,1 МэВ. Спиновый эффект у  $^{173}\text{Yb}$  оказался достаточным /~12%/ для надежного разделения наблюдаемых резонансов на две группы. В условиях разрешающей способности нашего спектрометра мы смогли определить спины резонансов  $^{173}\text{Yb}$  в области до 600 эВ. В интервале до 110 эВ наша спиновая

идентификация полностью совпадает с данными, приведенными в /6/, однако есть некоторое расхождение в определении спинов с результатами работы /7/.

Измерения с  $^{167}\text{Er}$  проводились также для двух толщин образцов  $6,4 \cdot 10^{21}$  и  $1,6 \cdot 10^{21}$  яд/см<sup>2</sup> по  $^{167}\text{Er}$  /. Порог в канале одиночного счета варьировался от 2,3 до 3,0 МэВ, в канале совпадений использовались пороги 0,1 и 0,2 МэВ, а также амплитудные окна в пределах 0,1-1,5 МэВ. Кроме того, было проведено измерение в режиме тройных совпадений /с порогами 0,1 МэВ/. Вариация режимов измерений с  $^{167}\text{Er}$  была обусловлена стремлением найти условия, дающие наибольший спиновый эффект. В зависимости от выбранных режимов спиновый эффект менялся от 7 до 18%. Результаты, полученные для разных толщин образцов и разных порогов, сравнивались между собой, что давало возможность проконтролировать устойчивость спиновой идентификации. Полученные нами значения спинов резонансов  $^{167}\text{Er}$  охватывают область до 280 эВ. В области до 100 эВ наши результаты хорошо согласуются с данными работы /6/.

На рис. 1 и 2 представлены примеры временных спектров  $^{167}\text{Er}$  и  $^{173}\text{Yb}$  после их обработки. Результаты спиновой идентификации резонансов  $^{167}\text{Er}$  и  $^{173}\text{Yb}$  приведены в табл. 1 и 2.

Полученные нами данные позволяют сделать оценки средних расстояний между резонансами для разных спинов В случае  $^{167}\text{Er}$  имеем

$$D = 9,3 \pm 1,0 \text{ эВ для } J = 3,$$

$$D = 7,5 \pm 0,6 \text{ эВ для } J = 4;$$

в случае  $^{173}\text{Yb}$

$$D = 20 \pm 2 \text{ эВ для } J = 2,$$

$$D = 14,0 \pm 1,3 \text{ эВ для } J = 3.$$

Используя сведения о нейтронных ширинах из работы /6/, мы получили значения силовых функций для изотопа  $^{167}\text{Er}$

$$S^0 = 2,3 \pm 0,8 \text{ для } J = 3$$

$$S^0 = 2,0 \pm 0,5 \text{ для } J = 4,$$

для изотопа  $^{173}\text{Yb}$

$$S^0 = 1,5 \pm 0,5 \text{ для } J = 2$$

$$S^0 = 1,2 \pm 0,3 \text{ для } J = 3$$

/в единицах  $10^{-4}$ /.

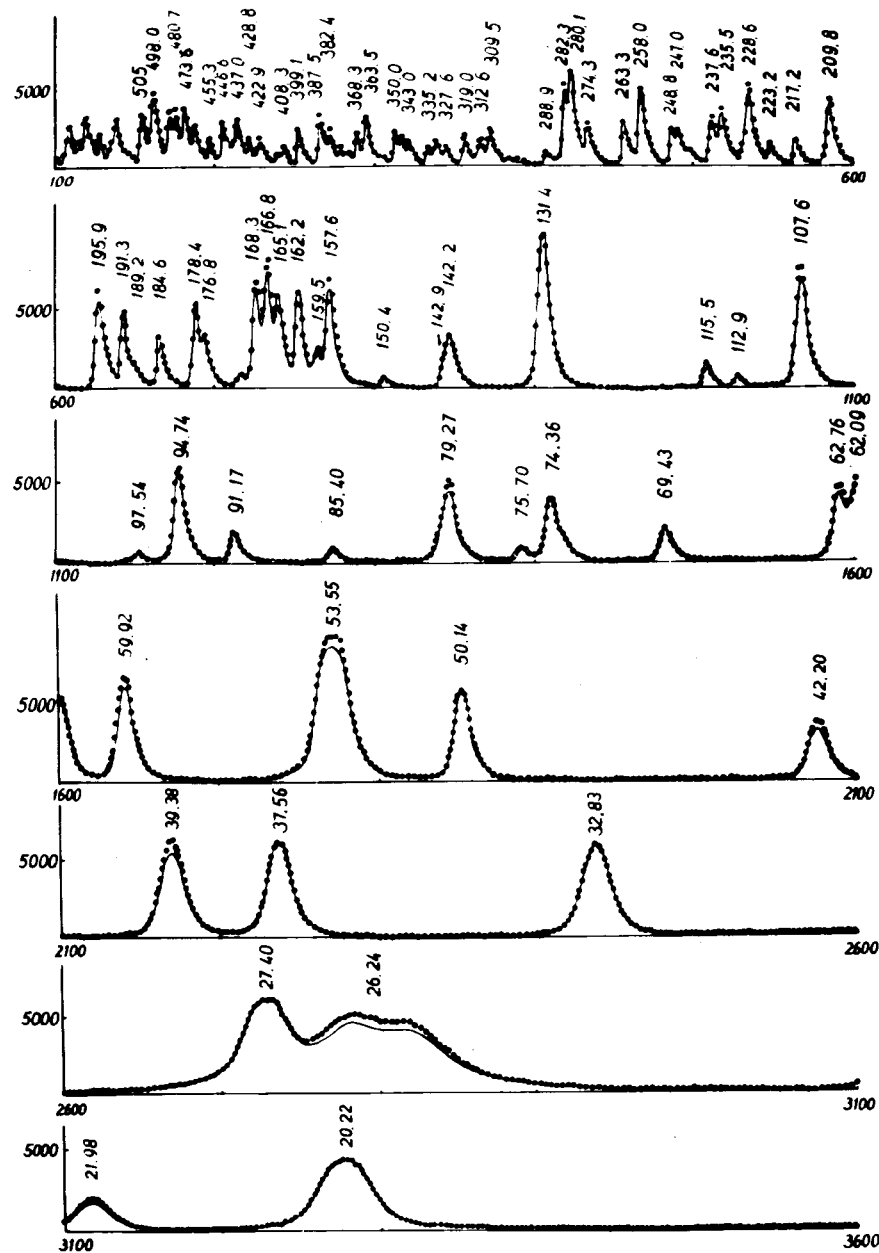
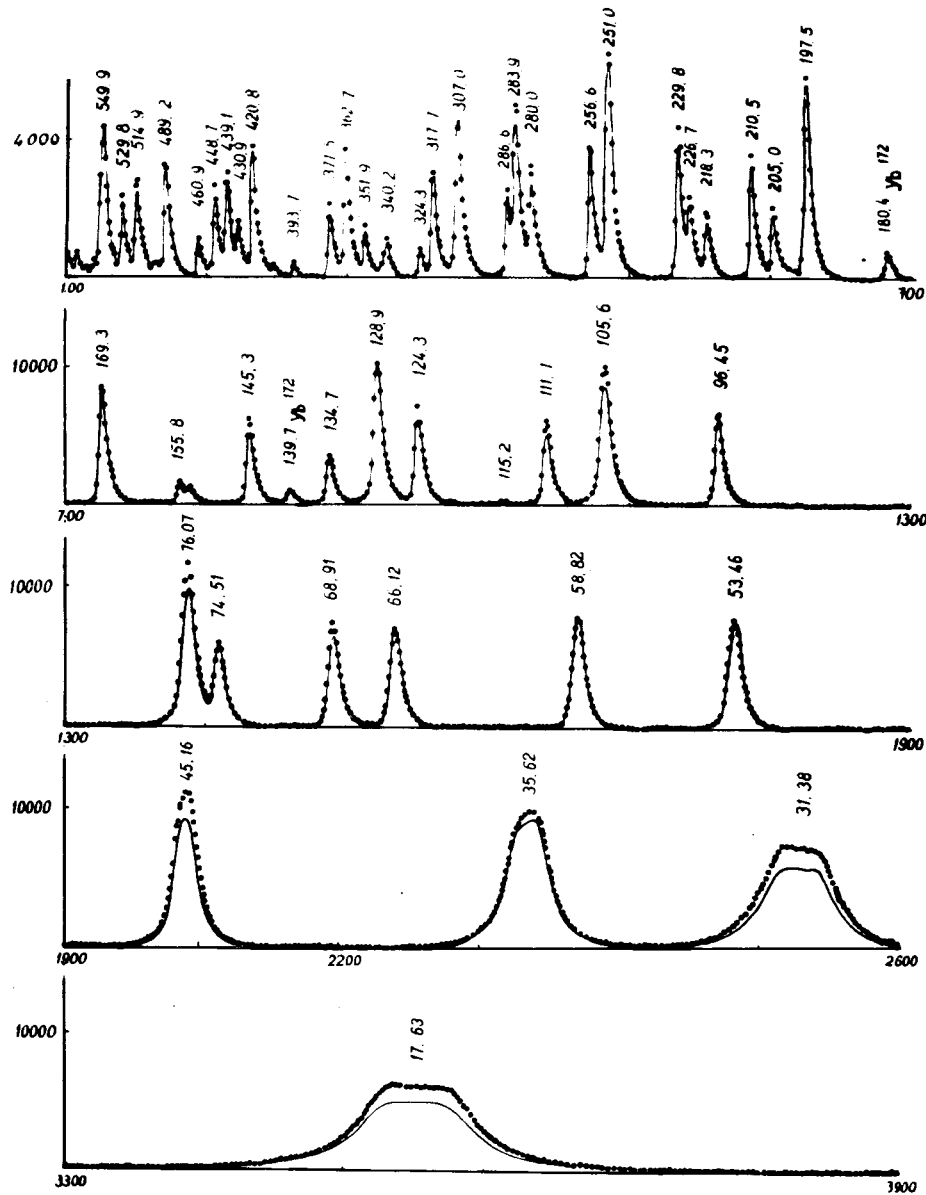


Рис. 1. Эрбий-167. Сплошная кривая - спектр в режиме совпадений, точки - спектр в режиме одиночного счета.

Таблица I  
Спины нейтронных резонансов  $^{167}\text{Er}$



$\Gamma_0$ , эВ	$J$	Вероятность %
5,99	3	99
7,92	4	100
9,39	3	98
20,2	4	100
22,0	3	100
26,2	3	100
27,4	4	100
32,8	4	100
37,6	4	100
39,4	3	100
42,2	3	98
50,1	4	100
53,5	(4)	70
59,9	3	100
62,1	4	90
62,8	3	90
69,4	4	100
74,4	4	100
75,7	4	100
79,3	3	100
85,4	3	90
91,2	4	100
94,7	(4)	70
97,5	4	100
98,2	(4)	62
107,6	3	100
112,9	4	90
115,5	3	100
131,4	4	90
142,2	4	100
142,9	4	100
150,4	4	96

Рис. 2. Иттербий-173. Сплошная кривая - спектр в режиме совпадений, точки - спектр в режиме одиночного счета.

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3
I53,2	3	93
I57,6	(3)	
I59,5	4	92
I62,2	4	100
I65,1	4	90
I66,3	(3)	60
I68,3	4	90
I76,8	3	90
I78,4	4	100
I84,6	4	100
I91,3	4	95
I95,9	3	90
209,8	(3)	70
217,2	4	100
223,2	4	100
228,6	(4)	
230,2	(4)	
235,5	(3)	
237,6	(3)	
238,4	(4)	
247,0	(4)	
249,2	(3)	
258,0	4	100
263,3	4	100
274,3	(3)	
280,1	4	100
282,9	4	100
288,9	3	100

Таблица 2

Списки нейтронных резонансов 173 Yb

$E_0$ эВ	$\zeta$	Вероятность %
17,6	2	100
31,4	2	100
35,6	3	100
45,1	2	100
53,4	3	100
58,8	3	100
66,1	3	100
68,8	2	97
74,4	3	100
76,0	2	100
96,3	3	100
105,5	2	100
111,0	2	100
115,1	3	100
124,2	2	100
128,7	3	100
134,6	3	100
145,2	2	100
154,0	3	100
155,6	(3)	
169,0	3	100
197,2	3	100
204,7	2	100
210,1	3	95
221,6	2	98
226,3	(3)	70
229,4	2	100
250,6	3	100
256,6	3	100
277,5	2	100
283,4	(2)	60

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3
286,1	(3)	57
303,4	3	100
306,4	3	100
317,7	3	100
324,3	3	100
340,2	3	98
351,2	2	100
361,9	2	100
371,5	2	100
392,8	3	97
405,1	(2)	66
420,0	3	100
429,8	3	96
439,1	2	100
447,7	2	100
459,8	3	100
488,0	3	100
513,8	(2)	69
528,4	3	100
548,4	3	100
574,2	3	91
605,2	3	100
618,9	3	100

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты для  $^{167}\text{Er}$  и  $^{173}\text{Yb}$  совместно с данными, полученными за последнее время нами и другими авторами для четно-нечетных изотопов редкоземельных ядер, позволяют еще раз рассмотреть вопрос о спиновой зависимости силовой функции в этой области атомных ядер. Вопрос о спиновой зависимости нейтронной силовой функции является в определенной степени фундаментальным: зависят ли силы взаимодействия нейтрона с ядром от

взаимной ориентации и величины спинов? Этот вопрос постоянно вызывал интерес. 10 лет назад в работах французских физиков /10/ была отмечена для некоторых ядер зависимость силовой функции от спина. В 1969 г. дубненская группа авторов /11/ проделала подробный статистический анализ спиновой зависимости силовых функций для широкого круга ядер, для которых к тому времени стали известны спины значительного числа резонансов. Привлечение уточненных данных о силовых функциях для отдельных ядер, а также анализ большого числа ядер позволили авторам работы /11/ сделать вывод о том, что экспериментальные данные по всей совокупности ядер не противоречат гипотезе о равенстве  $s$ -волновых нейтронных силовых функций для разных спиновых состояний.

В 1972 г. в работе /8/ были снова проанализированы силовые функции в основном для редкоземельных ядер, полученные преимущественно в Сакле / $^{143,145}\text{Nd}$ ,  $^{147,149}\text{Sm}$ ,  $^{155,157}\text{Gd}$ ,  $^{163}\text{Dy}$ ,  $^{165}\text{Ho}$ ,  $^{167}\text{Er}$ /. В этой работе отмечается различие силовых функций в зависимости от спина и делается попытка описать экспериментальные данные введением спин-спинового члена в действительную часть оптического потенциала. Экспериментальные данные, послужившие авторам работы /8/ основанием для заключения о существовании спиновой зависимости  $S_J^0$ , приведены в табл. 3, там же приведены значения силовых функций, полученные в последнее время. Видно, что более поздние результаты для большинства изотопов существенно отличаются от данных работы /8/. Новые результаты, соответствующие оценкам  $S_J^0$  по более широким энергетическим интервалам или по большему числу уровней с известными спинами, имеют либо противоположный знак спинового эффекта / $^{143}\text{Nd}$ ,  $^{163}\text{Dy}$ /, либо указывают вообще на его отсутствие / $^{145}\text{Nd}$ ,  $^{147,149}\text{Sm}$ ,  $^{157}\text{Gd}$ ,  $^{167}\text{Er}$ /. Вполне очевидно, что при малом числе резонансов возможно появление разброса экспериментальных значений  $S$  /при условии равенства истинных значений  $S_{I+1/2}^0$  и  $S_{I-1/2}^0$ /. Так, например, для  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{149}\text{Sm}$ ,  $^{157}\text{Gd}$ ,  $^{163}\text{Dy}$ ,  $^{167}\text{Er}$  увеличение числа резонансов, для которых определены спины, приводит к уменьшению разброса  $S_J^0$ . В области до 320 эВ у  $^{163}\text{Dy}$  по

Таблица 3

Значения  $S_J^0$  для четно-нечетных протонов  
редкоземельных ядер

Ядро-мишень	$I^\pi$	$S_{I-1/2}^0 \cdot 10^4$	$S_{I+1/2}^0 \cdot 10^4$	Литература	$\alpha/\sigma$	Вероятность случайного наблюдения %
$^{143}\text{Nd}$	$7/2^-$	$8,4 \pm 4,3$	$4,1 \pm 2,2$	/8/	-0,21	> 85
		$2,6 \pm 1,3$	$5,5 \pm 2,3$	/9/	0,40	> 70
$^{145}\text{Nd}$	$7/2^-$	$0,64 \pm 0,34$	$1,70 \pm 0,75$	/8/	1,7	~ 15
		$2,4 \pm 0,9$	$2,8 \pm 0,9$	/9/	0,17	~ 90
$^{147}\text{Sm}$	$7/2^-$	$3,1 \pm 1,9$	$5,0 \pm 3,4$	/8/	0,18	~ 90
		$3,9 \pm 1,2$	$3,8 \pm 1,1$	/2/	-0,02	~ 100
$^{149}\text{Sm}$	$7/2^-$	$3,3 \pm 1,8$	$7,2 \pm 2,4$	/8/	0,35	> 70
		$4,1 \pm 1,1$	$5,8 \pm 1,4$	/2/	0,27	~ 85
$^{155}\text{Gd}$	$3/2^-$	$1,38 \pm 0,73$	$1,72 \pm 0,60$	/8/	0,33	> 70
$^{157}\text{Gd}$	$3/2^-$	$2,94 \pm 1,56$	$2,26 \pm 0,88$	/8/	-0,21	> 85
		$2,1 \pm 0,7$	$2,3 \pm 0,6$	/3/	0,14	~ 90
$^{161}\text{Dy}$	$5/2^+$	$1,96 \pm 0,65$	$1,33 \pm 0,48$	/4/	-0,69	~ 50
$^{163}\text{Dy}$	$5/2^-$	$0,54 \pm 0,26$	$1,24 \pm 0,40$	/8/	2,4	~ 7
		$2,1 \pm 0,7$	$1,00 \pm 0,35$	/4/	-1,4	~ 20 <sup>до 320 эВ</sup>
		$2,5 \pm 0,7$	$1,9 \pm 0,4$	/6/	-0,49	> 70 <sup>до 390 эВ</sup>
$^{164}\text{Er}$	$7/2^+$	$5,9 \pm 3,1$	$1,76 \pm 0,76$	/8/	-0,57	~ 60
		$2,3 \pm 0,8$	$2,0 \pm 0,5$	наст.р.	-0,21	~ 85
$^{173}\text{Yb}$	$5/2^-$	$1,6 \pm 0,5$	$1,24 \pm 0,35$	"	-0,60	~ 60
$^{175}\text{Yb}$	$7/2^-$	$2,8 \pm 0,6$	$2,2 \pm 0,5$	/6/	-0,43	> 70
$^{177}\text{Yb}$	$9/2^+$	$2,0 \pm 0,6$	$2,23 \pm 0,65$	/6/	0,18	~ 90

нашим данным и данным работы /6/ силовые функции для разных спинов отличаются примерно в 2 раза. Оценка  $S_J^0$  по интервалу до 390 эВ приводит к значениям, отличающимся на 30%. Оценивая достоверность значений  $S_J^0$ , всегда следует помнить и о том, что ошибка в определении спина даже одного сильного резонанса может существенно исказить значения силовых функций.

Для оценки статистической достоверности наблюдаемого различия  $S_J^0$  мы воспользовались методом, предло-

женным в /11/. В табл. 3 приведены значения  $\alpha/\sigma$  /в обозначениях работы /11/  $\alpha = 2 \cdot \frac{S_{I+1/2}^0 - S_{I-1/2}^0}{S_{I+1/2}^0 + S_{I-1/2}^0}$ ,  $\bar{\sigma} = \frac{\sigma S_{I+1/2}^0 + \sigma S_{I-1/2}^0}{2}$  /, характеризующие относительное

различие  $S_J^0$  и соответствующие вероятности случайного наблюдения этого различия  $W$ . Из табл. 3 видно, что экспериментальным величинам  $S_J^0$  для всех изотопов, за исключением значений  $S_J^0$  для  $^{145}\text{Nd}$  и  $^{163}\text{Dy}$  из /8/, соответствует значительная вероятность случайного различия  $S_{I+1/2}^0$  и  $S_{I-1/2}^0$  /  $W \geq 50\%$ /. Если принять во внимание только новые данные, то для большей части из них вероятность случайного различия экспериментальных значений  $S_J^0$  /в предположении равенства истинных  $S_{I+1/2}^0$  и  $S_{I-1/2}^0$ / достигает 70-90%. Поэтому следует признать, что вывод авторов работы /8/ о существовании спиновой зависимости силовых функций у редкоземельных изотопов является необоснованным. Отвлекаясь от высокой статистической достоверности случайного различия  $S_J^0$  и рассматривая только сами значения  $S_J^0$ , следует признать, что имеющиеся сейчас данные указывают на то, что если спиновый эффект существует, то он достаточно мал и не превышает десятков процентов. В этом случае для его надежного обнаружения необходимо получать экспериментальные данные со значительно меньшими ошибками, чем сейчас удается. Для этого нужно измерять спины в несколько раз большего числа резонансов, либо проводить прямые измерения усредненных сечений на поляризованных нейтронах и поляризованных ядрах.

#### Литература

1. Э.Н.Каржавина, Ким Сек Су, А.Б.Попов. Препринт ОИЯИ, РЗ-6092, Дубна, 1971.
2. Э.Н.Каржавина, Ким Сек Су, А.Б.Попов. Сообщение ОИЯИ, РЗ-6237, Дубна, 1972.
3. Э.Н.Каржавина, Ким Сек Су, А.Б.Попов. Препринт ОИЯИ, РЗ-6948, Дубна, 1973.



4. Э.Н.Каржавина, Ким Сек Су, А.Б.Попов, Х.Файков. Препринт ОИЯИ, РЗ-7980, Дубна, 1974.
5. C.Coseva, C.Corvi et al. *Nucl.Phys.*, 117A, 586 (1968).
6. BNL-325, 3-d Ed. *Neutron cross sections, vol. 1, Resonance parameters*, 1973.
7. H.I.Lion et al. *Phys.Rev.*, 7C, 823 (1973).
8. C.Newstead, J.Delaroche, B.Cauvin. *Intern. Conf. on the Study of Nuclear Structure with Neutrons. Budapest, Contributions*, p. 144, 1972.
9. A.Stolovy et al. *Phys.Rev.*, 5C, 2030 (1972).
10. J.Julien et al. *Phys.Lett.*, 10, 86 (1964).  
J.Julien. *Intern. Conf. on the study of nuclear structure with neutrons. Antwerpen*, 1965.
11. Х.Малецки, Л.Б.Пикельнер, И.М.Саламатин, Э.И.Ша-  
рапов. Препринт ОИЯИ, РЗ-4484, Дубна, 1969. ЯФ,  
11, вып. 1, 111 /1970/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
7 января 1975 года.