

объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

3737 / 2-80

11/8-80

P6-80-247

А.А.Абдуразаков, Ц.Вылов, К.Я.Громов,
Т.А.Исламов, А.Караходжаев, В.В.Кузнецов,
Н.А.Лебедев, Нгуен Конг Чанг, Ш.Оманов

ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ ¹⁵³Ть

Направлено в "Известия АН СССР" /сер. физ./

1980

1. ВВЕДЕНИЕ

В работе ^{1/} нами опубликованы сведения по изучению спектров γ -лучей, электронов внутренней конверсии /ЭВК/ и $e\gamma$ -совпадений при распаде ¹⁵⁸Dy. Полученные экспериментальные данные позволяют уточнить и дополнить схему распада ¹⁵⁸Dy. При построении и анализе схемы распада ¹⁵⁸Dy мы использовали также сведения о распаде ¹⁵⁸Dy ^{2,3/} и результаты исследований реакций ($\alpha, 2n$) и ($\alpha, 4n$) ^{4/}. Настоящая работа является продолжением работы ^{1/}.

2. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из работы ^{1/} /табл.2/ видно, что схемные коэффициенты, полученные из анализа спектров $e\gamma$ -совпадений, указывают на то, что размещение γ -переходов 194,019; 262,597; 274,673; 410,66; 482,59; 491,15; 614,229; 781,87; 1023,994; 1034,60 и 1379,54 кэВ в схеме другое, чем показано в работе ^{3/}. Гамма-переход с энергией 194,02 кэВ непосредственно совпадает с ЭВК К80,7. На основе этого мы вводим в схему распада ¹⁵⁸Dy новый уровень с энергией 274,70 кэВ. Этот уровень разряжается γ -переходами 11,90; 61,044 (M1+E2); 127,126 (E1); 194,019 (E1) и 174,67 кэВ. Мультипольности γ -переходов позволили установить, что спин и четность уровня 274,70 кэВ равны 5/2⁻.

Как показал анализ спектра $e\gamma$ -совпадений с ЭВК К99,7, фотопик γ 274,67 кэВ сложный и размещается не только между уровнями 537,35 и 262,85 кэВ ^{8/}, а также и в другом месте схемы распада ¹⁵⁸Dy. Ввиду отсутствия относительно сильных по интенсивности γ -переходов, которые могли бы разрядить возможный промежуточный уровень с энергией "X" кэВ, предполагаем, что γ 274,67 кэВ размещается в трех местах схемы распада ¹⁵⁸Dy. Во-первых, между уровнями 537,35 и 262,85 кэВ. Долю интенсивности /18/2/ ед./ γ 274,67 кэВ, разряжающего уровень 537,35 кэВ, мы определили путем анализа величины схемного коэффициента $\bar{a} = 0,34/3/$ для заселяющих уровень 537,35 кэВ γ -переходов с энергиями 420, 827, 1254, 1375 и 1583 кэВ. Во втором случае γ -переход 274,67 кэВ совпадает по месту размещения с ЭВК К99,7 через промежуточный уровень "X" кэВ. Уровень "X" кэВ разряжается только одним γ -переходом с энергией в несколько кэВ на уровень 262,85 кэВ. Долю интенсивности γ -перехода

153
65 T D 88

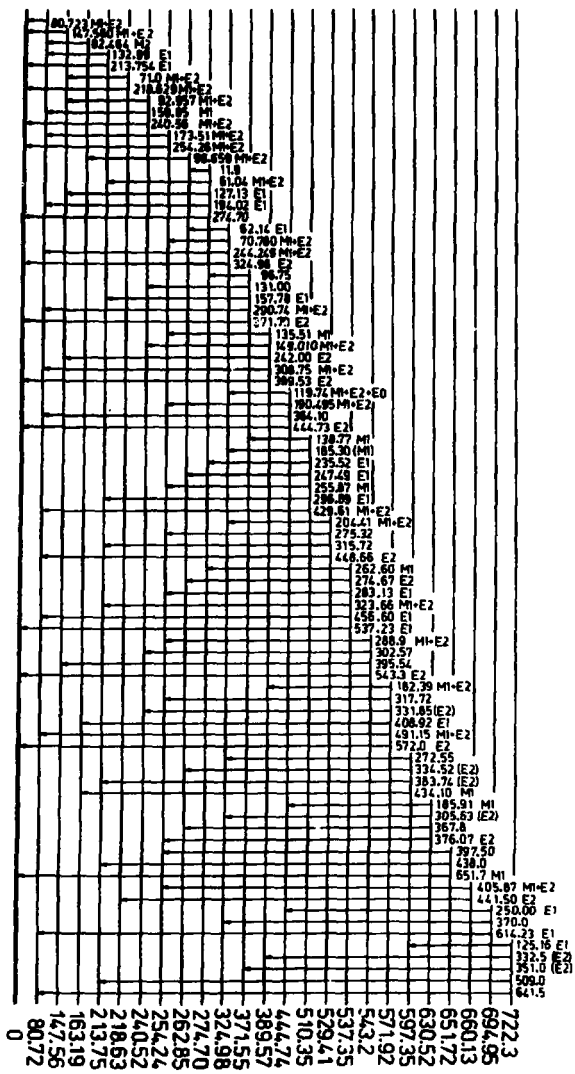


Рис. 1а

153
65 T88

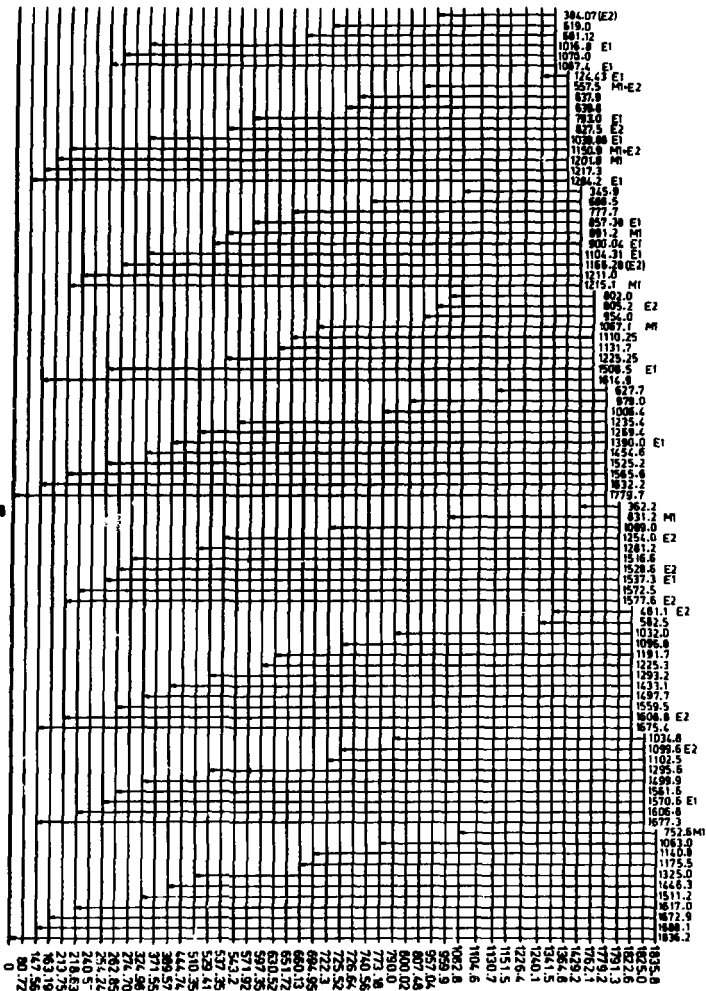


Рис. 1в

274,67 кэВ, совпадающего с ЭВК К99,7 через промежуточный уровень "X" кэВ, определяем путем анализа γ -совпадений равной 18/4/ ед. Третьим местом размещения γ 274,67 кэВ является расположение его между уровнями 274,70 и основным состоянием ^{153}Tb . Интенсивность последнего перехода /28/5/ ед./ находим как остаток интенсивности, полученной при вычитании из общей интенсивности γ 274,67 кэВ интенсивностей первых двух переходов.

Гамма-переход с энергией 262,597 кэВ в работах ^{2,3/} различен между уровнями 800,0 и 537,35 кэВ. Схемный коэффициент /а = 0,21/2// для γ -перехода 262,597 кэВ при совпадениях с ЭВК К99,7 меньше, чем коэффициент для γ -переходов, приходящих на уровень 537,35 кэВ /а = 0,34/3//. В настоящей работе γ -переход 262,597 кэВ размещен между уровнями 537,35 и 274,70 кэВ. Мы считаем, что совпадение γ 262,597 кэВ с ЭВК К99,7 происходит через переход с энергией 11,90 кэВ. В табл.1^{1/1/} приводится полная интенсивность этого перехода /1_{полн.} = 7,577//, найденная из анализа спектров γ -совпадений.

Анализ спектра γ -совпадений показал, что переход 1024,0 кэВ непосредственно совпадает с γ -переходом 80,72 кэВ. На основе этого мы вводим в схему распада ^{153}Dy уровень с энергией 1104,6 кэВ. Этот уровень разряжается γ -переходами 364,10; 378,0 (E2); 379,30; 473,50; 532,97 (E1); 863,88 (E1) и 1024,0 (E1) кэВ. Мультипольности γ -переходов позволяют приписать этому уровню спин и четность или 7/2⁻, или 9/2⁻.

В табл.1 и на рис.1а-г приведены уровни ^{153}Tb , возбуждающиеся при распаде ^{153}Dy . Там же приводятся спины /в том числе спины, определенные в работе ^{3/} /, характеристик: одночастичных состояний, интенсивности заселения уровней ^{153}Tb в процентах на распад ^{153}Dy и величины lg ft. Обозначение " γ " в примечании к таблице означает, что этот уровень введен впервые или подтвержден анализом спектров γ -совпадений.

3. СХЕМА РАСПАДА

Из 504 наблюдаемых γ -переходов в схеме распада ^{153}Dy , включающей 55 возбужденных состояний ^{153}Tb , размещается 319 γ -переходов. Суммарная интенсивность неразмещенных переходов составляет 27% от числа распадов ^{153}Dy . Спины основных состояний ^{153}Tb /5/2⁺ и ^{153}Dy /7/2⁻ определены в работах ^{5,6/}. По модели оболочек нечетный протон ^{153}Tb и нечетный нейтрон ^{153}Dy находятся на подоболочках $2d_{5/2}$ и $2f_{7/2}$ соответственно.

Согласно работе ^{7/} позитронный распад ^{153}Dy в основное состояние ^{153}Tb мало вероятен /<0,2%/. Отсюда за 100% распадов принимаем суммарную интенсивность γ -переходов, заселяю-

Таблица 1

Схема уровней ^{158}Tb , возбуждающихся при распаде ^{153}Dy .

$E(\Delta E)$ кэВ	I^{π}	$I^{\pi} / 3/$	$2K[N\pi_{\Sigma} \Lambda]$	$(C + \beta^+)%$	$\lg ft$	Приме- чание
1	2	3	4	5	6	7
0	$5/2^+$	$5/2^+$	$5 / 402/$	-	-	
80,723(20)	$7/2^+$	$7/2^+$	$7 / 404/$	<7	>7,0	
147,560(20)	$(3/2)^+$	$3/2(5/2, 7/2)^+$	$3 / 411/$	1,7(9)	7,7	
163,187(20)	$11/2^-$	$11/2^-$	-	-	-	
213,748(20)	$7/2^-$	$7/2^-$	-	3,75(33)	7,3	
218,629(20)	$5/2^+$	$5/2(7/2)^+$	-	0,5	8,2	
240,517(20)	$(5/2)^+$	$5/2(7/2)^+$	$3 / 411/$	1,85(33)	7,6	eJ
254,232(20)	$7/2^+$	$7/2^+$	$5 / 402/$	2,48(25)	7,5	eJ
262,846(20)	$9/2^-$	$9/2^-$	-	29(4)	6,4	
274,70(4)	$5/2^-$	-	-	3,83(30)	7,3	eJ
324,977(20)	$9/2^+$	$7/2^+$	$7 / 404/$	-	-	eJ
371,55(20)	$9/2^+$	$(5/2, 7/2)^+$	-	1,06(10)	7,8	eJ
389,567(20)	$(7/2)^+$	$5/2(7/2)^+$	$3 / 411/$	2,26(16)	7,4	eJ
444,739(20)	$9/2^+$	$9/2^+$	$5 / 402/$	1,13(11)	7,7	eJ
510,35(10)	$7/2, 9/2^+$	$(7/2, 9/2)^+$	-	1,97(19)	7,4	eJ
529,41(5)	$11/2^+$	$9/2(5/2, 7/2)^+$	$7 / 404/$	0,7	7,9	eJ
537,35(10)	$5/2^-$	$5/2(7/2)^-$	-	3,2(5)	7,2	eJ
543,20(10)	$7/2, 9/2^+$	$(5/2, 7/2)^+$	-	0,91	7,8	
571,92(10)	$9/2^+$	"+"	$3 / 411/$	-	-	eJ
597,35(10)	$9/2, 11/2^-$	$9/2^-$	-	-	-	eJ
630,52(10)	$11/2^+$	"+"	$5 / 402/$	0,7	7,8	eJ
651,72(10)	$(7/2)^+$	-	-	-	-	
660,13(5)	$9/2^+$	$3/2(5/2, 7/2)^+$	-	-	-	
694,95(5)	$9/2^-$	-	-	0,4	7,7	eJ
722,30(10)	$7/2, 9/2^+$	-	-	0,3	8,2	eJ
725,52(10)	$9/2^-$	$9/2^-$	β -вибр.	5,10(23)	6,9	eJ
726,64(10)	$5/2^-$	$5/2(7/2, 9/2)^+$	β -вибр.	0,8	7,6	eJ
740,56(6)	$9/2^+$	"+"	-	2,88(19)	7,1	eJ
773,18(10)	$7/2^-$	-	-	1,57(13)	7,4	
790,00(10)	$7/2, 9/2^+$	$(7/2, 9/2)^+$	-	0,3	8,2	eJ
800,00(15)	$5/2^+$	$5/2(7/2)^-$	$3 \text{ } ^4 411/+ \text{ } Q(20)$	-	-	
807,50(10)	$7/2, 9/2^-$	$9/2^-$	-	2,56(17)	7,1	eJ
957,04(10)	$7/2^-$	$(5/2, 7/2)^-$	-	0,3	8,0	eJ
959,90(10)	$7/2^-$	"+"	-	1,33(10)	7,4	

Таблица 1 /продолжение/

1	2	3	4	5	6	7
I082,80(10)	9/2 ⁻	-	-	1,31(11)	7,2	eJ
I104,60(10)	7/2,9/2 ⁻	-	-	1,95(12)	7,0	eJ
I130,70(5)	5/2,7/2,9/2 ⁻	"+"	-	1,42(9)	7,2	eJ
I151,50(10)	11/2 ⁻	"+"	-	0,5	7,6	eJ
I226,40(10)	7/2,9/2 ⁺	-	-	0,7	7,4	
I240,10(15)	7/2,9/2 ⁺	..	-	1,11(9)	7,2	
I341,50(20)	7/2 ⁻	"+"	-	0,3	7,6	
I364,80(10)	7/2,9/2 ⁻	(7/2,9/2) ⁻	-	2,94(19)	6,6	eJ
I429,34(5)	7/2 ⁻	(7/2,9/2) ⁻	-	2,30(16)	6,6	eJ
I762,10(15)	7/2,9/2 ⁻	-	-	1,68(11)	6,1	eJ
I779,20(10)	7/2,9/2 ⁻	-	-	1,85(13)	6,1	
I791,30(20)	5/2,7/2 ⁻	-	-	3,29(19)	5,8	eJ
I822,60(20)	(5/2) ⁻	-	-	2,03(13)	6,0	
I825,00(20)	5/2 ⁻	-	-	1,58(11)	6,2	eJ
I835,80(10)	-	-	-	0,9	6,4	
I853,10(10)	9/2 ⁻	-	-	1,31(13)	6,2	eJ
I912,50(5)	9/2 ⁻	-	-	5,38(31)	5,6	eJ
I940,00(16)	7/2,9/2 ⁻	-	-	0,8	6,4	
2011,30(20)	7/2 ⁻	-	-	0,7	6,5	eJ
2023,90(10)	-	-	-	0,9	6,4	
?I20,00(20)	-	-	-	0,9	6,4	eJ
2I20,80(10)	-	-	-	0,7	6,5	eJ

щих основное состояние ^{158}Tb : 773/42/ ед. /в ед. табл.1 /1/ /.
 При расчете значений $\lg ft$ принималось, что $T_{1/2} = 6,29/10^6$ ч /6/
 и $Q_{\beta^+} = 2171/2$ кэВ /7/.

На основании анализа соотношений интенсивностей L-линий 3BK /8/ мы провели анализ величин S-постоянной ротационных полос. Значения этой величины, рассчитанные по формуле /9/

$$S^2 = 8,76 \cdot 10^{-7} \frac{(E(I \rightarrow I-1))^2}{\delta^2(I-1)(I+1)} \left(\frac{\text{яд. магн.}}{e \cdot \delta} \right)^2,$$

для полос 5/2⁺/402/, 7/2⁺/404/, и 3/2⁺/411/ приведены в табл.2.

Квазиротационная полоса основного состояния 5/2⁺/402/. Уровни квазиротационной полосы 5/2⁺/402/ известны до $I = 15/2$ из данных исследования ядерных реакций ($\alpha, 2\text{пу}$) и ($\alpha, 4\text{пу}$) /4/. В настоящей работе при распаде ^{158}Dy мы наблюдаем уровни этой полосы: 254,232 /7/2⁺/, 444,739/9/2⁺ и 630,52/11/2⁺ кэВ.

Таблица 2

Параметр $|S| = \left| \frac{E_K - E_R}{G_0} \right|$ для вращательных полос ^{153}Tb .

E(I), кэВ	Уровень	Энергия перехода	Параметр смешивания	$\left \frac{9_K - 9_R}{Q_0} \right $	$\frac{S_{\text{МАГН.}}}{e \cdot \delta}$
	I	I → I - 1	$\delta^2 / 8/$		
254,232	7/2	254,3	$0,119 \pm 0,024$	$0,206 \pm 0,021$	
444,739	9/2	190,5	$0,07 \pm 0,03$	$0,155 \pm 0,032$	
324,977	9/2	244,2	$0,319 \pm 0,061$	$0,092 \pm 0,009$	
529,41	11/2	204,4	$0,35 \pm 0,10$	$0,060 \pm 0,008$	
240,517	5/2	93,0	$0,032 \pm 0,005$	$0,212 \pm 0,016$	
389,567	7/2	149,0	$0,051 \pm 0,012$	$0,184 \pm 0,022$	

Как видно из табл.2, анализировать величину $|S|$ невозможно из-за большой ошибки в $|S|$ для состояния 444,739 кэВ.

Квазиротационная полоса 7/2⁺/404/. Уровни квазиротационной полосы 7/2⁺/404/ известны до $I = 27/2$ из данных изучения ядерных реакций ($\alpha, 2\nu$) и ($\alpha, 4\nu$)^{4/}. В настоящей работе при распаде ^{153}Dy мы наблюдаем уровни этой полосы: 80,723/7/2⁺, 324,977/9/2⁺ и 529,41/11/2⁺ кэВ. Величины $|S|$ для уровней 324,977 и 529,41 кэВ различны. Это, по-видимому, объясняется тем, что в рассматриваемых состояниях проявляется вклад других состояний. Теоретические расчеты^{10/} по неадиабатической модели показали, что уровни 324,977/9/2⁺ и 529,41/11/2⁺ кэВ имеют следующую конфигурацию: 7/2/404/-49%, 5/2/413/-5,9%, 5/2/402/-43%, 1/2/411/-1,7% и 7/2/404/-45,8%, 5/2/413/-11%, 5/2/402/-41,6% соответственно.

Ротационная полоса 3/2⁺/411/. Эта полоса была интерпретирована в работе^{72/}. В настоящей работе при распаде ^{153}Dy наблюдаются уровни этой полосы: 147,560/3/2⁺, 240,517/5/2⁺, 389,567/7/2⁺ и 572,92/9/2⁺ кэВ. Эти уровни также наблюдаются в ядерных реакциях ($\alpha, 2\nu$) и ($\alpha, 4\nu$)^{4/}. Анализ величины $|S|$ /табл.2/ для уровней 240,517 и 389,567 кэВ показывает, что волновая функция этих состояний не содержит заметной примеси других состояний. Теоретические расчеты^{10/} по неадиабатической

модели дали для уровней $240,517/5/2^+$ и $389,567/7/2^+$ следующую конфигурацию: $5/2/402/-7,2\%$, $3/2/411/-84\%$, $1/2/420/-6,3\%$, $1/2/411/-1,9\%$ и $7/2/404/-5,5\%$, $5/2/413/-1,1\%$, $5/2/402/-8,6\%$, $3/2/411/-79\%$, $1/2/420/-4,6\%$ соответственно. В более тяжелом изотопе ^{155}Tb , в частности для уровня $155,79$ кэВ $^{11}/$ полосы $3/2^+/411/$, рассчитанная нами величина $|S|$ равна $0,185/5/$. Это значение совпадает с величиной $|S|$ в ^{153}Tb . Совпадение значений величин $|S|$ в двух соседних изотопах ^{153}Tb и ^{155}Tb указывает на то, что полосы $3/2^+/411/$ в этих двух ядрах имеют одинаковые свойства.

Бета-вибрационное состояние с положительной четностью. Уровень с энергией $800,0$ кэВ разряжается γ -переходами $525,53$; $559,63$ ($M1+E2+E0$) и $581,57$ кэВ на уровни $274,70/5/2^-$, $240,517/5/2^+$ и $218,629/5/2^+$ кэВ. Наличие $E0$ -компоненты в γ -переходе $559,63$ кэВ указывает на то, что уровень $800,0$ кэВ, по-видимому, имеет бета-вибрационный характер. В более тяжелом изотопе ^{155}Tb бета-вибрационное состояние $3/2^+/411/+Q(20)$ наблюдалось при энергии $760,0$ кэВ $^{11}/$. Не исключено, что уровень $800,0/5/2^+$ кэВ является членом бета-вибрационной полосы $3/2^+/411/+Q(20)$.

Низколежащие уровни с отрицательной четностью образуют "ириаст"-полосу состояний $h_{11/2}^{10}/$. Кориолисово взаимодействие нечетного протона с остовом приводит к опусканию уровня с $I=j$, и происходит инверсия последовательности спинов $11/2^-$, $7/2^-$, $9/2^-$, $5/2^-$ /см. табл.1/, которая также наблюдается в соседних изотопах $^{151}\text{Eu}^{127}$, $^{155}\text{Ho}^{13,14}$. Исследования $^{4/}$ ядерных реакций ($\alpha, 2p\gamma$) и ($\alpha, 4p\gamma$) привели к обнаружению в ядре ^{153}Tb несвязанной полосы, основанной на подболочке $h_{11/2}$. Энергетическая структура этой полосы аналогична структуре квазиротационной полосы основного состояния четно-четного ядра $^{152}\text{Gd}^{15,16}/$. Появление квазиротационных полос с $\Delta I=2$ можно интерпретировать как реализацию "выстроенной" схемы связи, введенной в работе $^{17}/$.

Бета-вибрационное состояние с отрицательной четностью. Уровень с энергией $725,52/9/2/$ кэВ разряжается γ -переходами $128,24$ ($M1$); $400,8$ ($E1$); $450,80$; $462,63$ ($M1+E2+E0$); $471,35$ ($E1$); $512,0$ ($E2$) и $562,25$ ($M1+E2$) кэВ на уровни $597,35$ $9/2^-$, $11/2^-$, $324,98$ $9/2^+$, $274,70/5/2^-$, $262,85/9/2^-$, $254,24/7/2^+$, $213,75/7/2^-$ и $163,19/11/2^-$ кэВ. Присутствие $E0$ -компоненты в γ -переходе $462,63$ кэВ указывает на то, что этот уровень, возможно, является бета-вибрационным состоянием.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Ю.Юшкевичу за приготовление радиоактивных препаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуразаков А.А. и др. ОИЯИ, Р6-80-146, Дубна, 1980.
2. Зубер К. и др. ОИЯИ, Р6-8669, Дубна, 1975.
3. Devous M.D., Sugihara T.T. Phys.Rev., 1977, C15, p.740.
4. Winter G. et al. Nucl.Phys., 1978, A299, p.285.
5. Rosen A. et al. Nucl.Phys., 1970, A154, p.526.
6. Adelroth K.E., Nyqvist H., Rosen A. Phys.Scr., 1970, vol.2, p.96.
7. Громова И.И. и др. ОИЯИ, Р6-10863, Дубна, 1977.
8. Аликов Б.А. и др. Изв. АН СССР, сер.физ., 1977, 41, с.1098.
9. Желепов Б.С., Драницына Г.Ф., Михайлов В.М. Свойства деформированных ядер с $K=1/2$. "Наука", Л., 1971, с.165.
10. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, Р6-10861, Дубна, 1977.
11. Абдуразаков А.А. и др. ОИЯИ, Р6-12733, Дубна, 1979.
12. Leigh J.R. et al. J.Phys.G: Nucl.Phys., 1977, vol.3, No.4, p.519.
13. Foin C. et al. Nucl.Phys., 1979, A234, p.182.
14. Будзяк А. и др. ОИЯИ, Р6-12849, Дубна, 1979.
15. Sakai M. Nucl.Data Table, 1972, A10, p.511.
16. Дэнау Ф., Райнхардт Х. ЭЧАЯ, 1979, т.10, вып.6, с.1191.
17. Stephens F.S. et al. Phys.Rev.Lett., 1972, vol.29, p.438.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 марта 1980 года.