

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



A-50

76-11

21/3-74

6 - 10293

1016 / 2-74

Б.А.Аликов, Я.Ваврыщук, К.Я.Громов, В.Жук,  
М.М.Маликов, Т.М.Муминов, И.Холбаев

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕН ЖИЗНИ  
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ И УГЛОВЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ  
 $\gamma$ -ЛУЧЕЙ В ЯДРЕ  $^{155}\text{Tb}$

1976

6 - 10293

Б.А.Аликов,<sup>1</sup> Я.Ваврыщук, К.Я.Громов, В.Жук,<sup>2</sup>  
М.М.Маликов,<sup>3</sup> Т.М.Муминов,<sup>1</sup> И.Холбаев<sup>1</sup>

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕН ЖИЗНИ  
ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ И УГЛОВЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ  
 $\gamma$ -ЛУЧЕЙ В ЯДРЕ <sup>155</sup>Tb

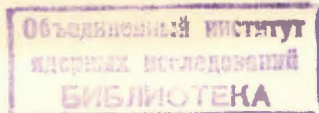
Направлено в "Известия АН СССР" /сер. физ./

---

<sup>1</sup> Самаркандский государственный университет.

<sup>2</sup> Университет им. М.Кюри-Склодовской, Люблин, ПНР.

<sup>3</sup> Институт ядерной физики Академии наук УзССР,  
Ташкент.



Аликов Б.А., Ваврышук Я., Громов К.Я.,  
Жук В., Маликов М.М., Муминов Т.М.,  
Холбаев И.

6 - 10293

Измерение времен жизни возбужденных состояний и угловых корреляций гамма-лучей в ядре  $^{155}\text{Tb}$

Методами задержанных  $e-\gamma$  и  $e-e$  совпадений измерены периоды полураспада возбужденных состояний  $^{155}\text{Tb}$  с энергиями 65 кэВ ( $0,25 \pm 0,03$  нс), 155 кэВ ( $\leq 0,2$  нс), 227 кэВ ( $0,29 \pm 0,03$  нс) и 250 кэВ ( $0,56 \pm 0,05$  нс). Исследованы  $\gamma-\gamma$  угловые корреляции каскадов 641 - (23) - 227, 664 - 227, 724 - 227, 835 - 227, 841 - 227, 905 - (23) - 227 и 928 - 227 кэВ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований  
Дубна 1976

Возбужденные состояния  $^{155}_{65}\text{Tb}_{90}$  изучались в ядерных реакциях типа  $(\alpha, 2n\gamma)$ ,  $(d, 2n\gamma)$ ,  $(p, n)$ ,  $(^3\text{He}, d)$ ,  $(\alpha, t)/1, 2/$  и при исследовании спектров конверсионных электронов,  $\gamma$ -лучей и  $\gamma-\gamma$ -совпадений при радиоактивном распаде  $^{155}\text{Dy}/3-10/$ .

В настоящей работе измерены времена жизни нижних уровней ротационных полос, построенных на состояниях  $3/2^+ [411]$  и  $5/2^- [532]$ , и изучена угловая анизотропия  $\gamma$ -лучей в интервале от 500 до 1000 кэВ, совпадающих с переходом 227 кэВ.

### РАДИОАКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Исследования проводились с радиоактивными источниками  $^{155}\text{Dy}$  /  $T_{1/2} = 10$  ч/. Изотопы Dy были приготовлены в реакции глубокого расщепления при облучении Ta мишени на внутреннем пучке протонов /  $E_p = 660$  МэВ / синхроциклотрона ОИЯИ. Из облученных мишеней радиохимическими методами выделялись изотопы Dy, которые затем разделялись по массам на электромагнитном масс-сепараторе. Для временных измерений ионы  $^{155}\text{Dy}$  внедрялись в Al фольги толщиной от 2,5 до 10 мкм. Для корреляционных измерений фольга с радиоактивным источником растворялась в водном растворе соляной кислоты.

## АППАРАТУРА

Временные измерения проводились методами  $e-\gamma$  и  $e-e$  задержанных совпадений с использованием сцинтилляционного детектора /сцинтиллятор типа NE111, фотомножитель типа XP1020/ и магнитно-линзового  $\beta$ -спектрометра - для измерений  $e-\gamma$  совпадений и двух соосно соединенных магнитно-линзовых  $\beta$ -спектрометров - для измерений  $e-e$  совпадений<sup>/11/</sup>. Измерения угловой анизотропии  $\gamma$ -лучей проводились на корреляционном спектрометре с Ge(Li) и двумя сцинтилляционными детекторами при временном разрешении  $2\tau_0 = 40$  нс<sup>/12/</sup>.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

### а/ Измерения времен жизни

На рис. 1 приведены некоторые измеренные нами временные распределения задержанных совпадений, спектр конверсионных электронов и фрагмент схемы распада  $^{155}\text{Dy}$ . Временные спектры обрабатывались по программам LIFTIM и GEXFIT<sup>/13/</sup>. Время жизни уровня 65,5 кэВ  $T_{1/2} = /0,25 \pm 0,03/$  нс определено нами впервые по экспоненциальному спаду кривых задержанных совпадений,  $\gamma /30 \div 70$  кэВ/ - L90 и M65 - L90 /левые склоны кривых/.

Время жизни уровня 155,8 кэВ измерялось ранее<sup>/14/</sup> в совпадениях между  $\gamma$ -лучами и К-электронами перехода 90 кэВ, выделяемыми вместе с KLL-электронами Оже. Полученная в этих измерениях временная кривая состояла из мгновенной части  $/T_{1/2} \leq 0,3$  нс/ и задержанной  $/T_{1/2} = 1,16 \pm 0,07$  нс/, причем интенсивность мгновенной компоненты более чем в 3 раза превосходила интенсивность задержанной. Авторы<sup>/14/</sup> ошибочно приписали задержанную компоненту совпадениям K90- $\gamma$ . Наши измерения задержанных совпадений между L-электронами перехода 90 кэВ и  $\gamma$ -лучами /30-70 кэВ/ показали, что временное распределение этих совпадений

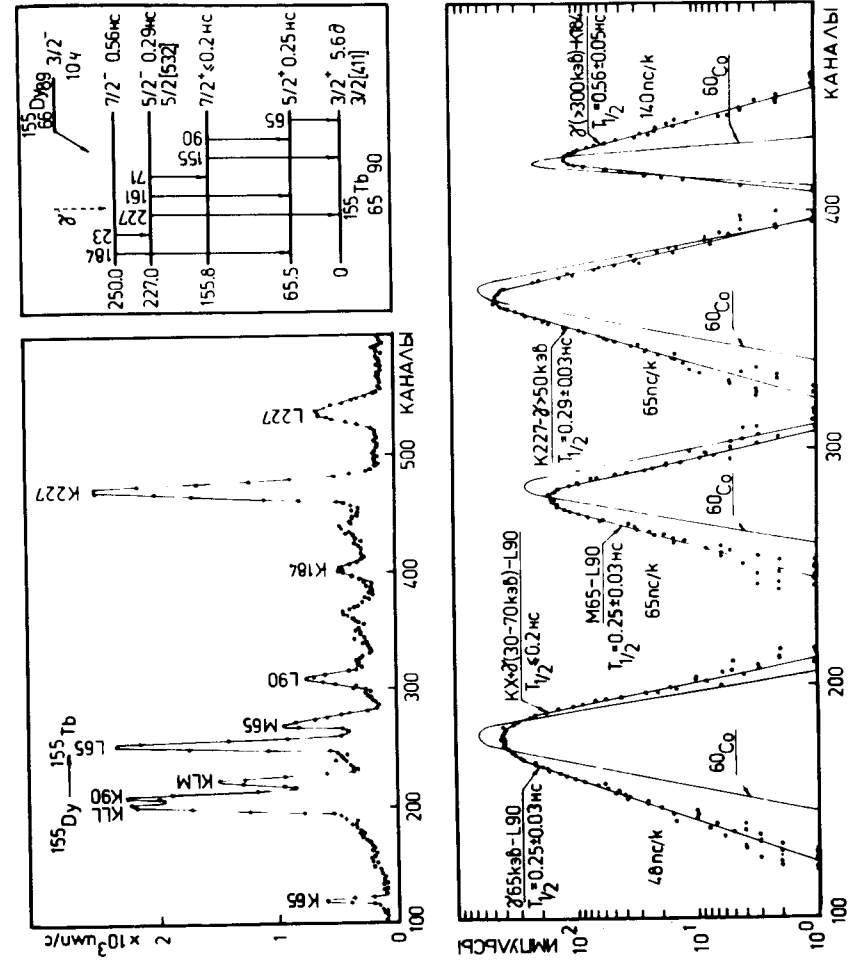


Рис. 1. Участок спектра конверсионных электронов  $^{155}\text{Dy}$ . Фрагмент схемы распада  $^{155}\text{Dy}$ . Временные распределения задержанных совпадений  $\gamma /30 \div 70$  кэВ/ - L90, M65 - L90, K227 -  $\gamma / > 50$  кэВ/,  $\gamma / > 300$  кэВ/ - K184 в  $^{155}\text{Tb}$ .

/правый склон КЗС/ не отличается от мгновенных. Это позволило определить верхнюю границу периода полураспада уровня 155,8 кэВ, как  $T_{1/2} \leq 0,2$  нс. По-видимому, задержанная компонента, проявившаяся в совпадениях (K90 + KLL) -  $\gamma^{14}$ , была обусловлена совпадениями KLL - электронов, сопровождающих К-конверсию интенсивного перехода 105,3 кэВ, разряжающего уровень с энергией 105,3 кэВ с  $T_{1/2} = /1,11 \pm 0,06/$  нс  $^{15}$  в дочернем  $^{155}\text{Gd}$ .

Время жизни уровня 227 кэВ измерялось методами задержанных совпадений различными авторами:  $T_{1/2} = /0,32 \pm 0,05/$  нс  $^{16,17}$ ,  $/0,44 \pm 0,05/$  нс  $^{18,19}$  и  $/0,306 \pm 0,022/$  нс  $^{20}$ . Наши измерения совпадений K227 -  $\gamma$   $^{>400}$  кэВ/ позволили определить время жизни этого состояния как  $T_{1/2} = /0,29 \pm 0,03/$  нс.

Время жизни уровня 250 кэВ измерено нами впервые в совпадениях между конверсионными электронами K184 кэВ и  $\gamma$ -лучами с  $E_{\gamma} \geq 300$  кэВ -  $T_{1/2} = /0,56 \pm 0,05/$  нс.

б/ измерения  $\gamma$ - $\gamma$  угловых корреляций.

Значения спинов возбужденных состояний  $^{155}\text{Tb}$ , образующихся при распаде  $^{155}\text{Dy}$ , были определены на основе анализа мультипольностей  $\gamma$ -переходов  $^{6,9,10}$ , при этом однозначно установлены значения спинов всех состояний с энергиями меньше 335 кэВ и для некоторых сильно заселяемых высоколежащих состояний.

В настоящей работе исследовались  $\gamma$ - $\gamma$  угловые корреляции перехода 227 кэВ с переходами 641, 664, 724, 835, 841, 905 и 928 кэВ. Измерения проводились в совпадениях  $\gamma$ -перехода 227 кэВ /фотопик которого выделялся в обоих сцинтилляционных трактах/ с  $\gamma$ -лучами в диапазоне энергий от 600 до 1200 кэВ /регистрируемых Ge(Li) детектором/. Так как переход 227 кэВ имеет мультипольность  $E1$  /коэффициент  $A_4 = 0$ /, то для определения значений коэффициентов  $A_2$  функции угловой корреляции достаточно было провести измерения для углов между детекторами  $\theta = 90^\circ$  и  $180^\circ$ . Спектр совпадений и одиночный  $\gamma$ -спектр  $^{155}\text{Dy}$  в указанном диапазоне приведены на рис. 2.

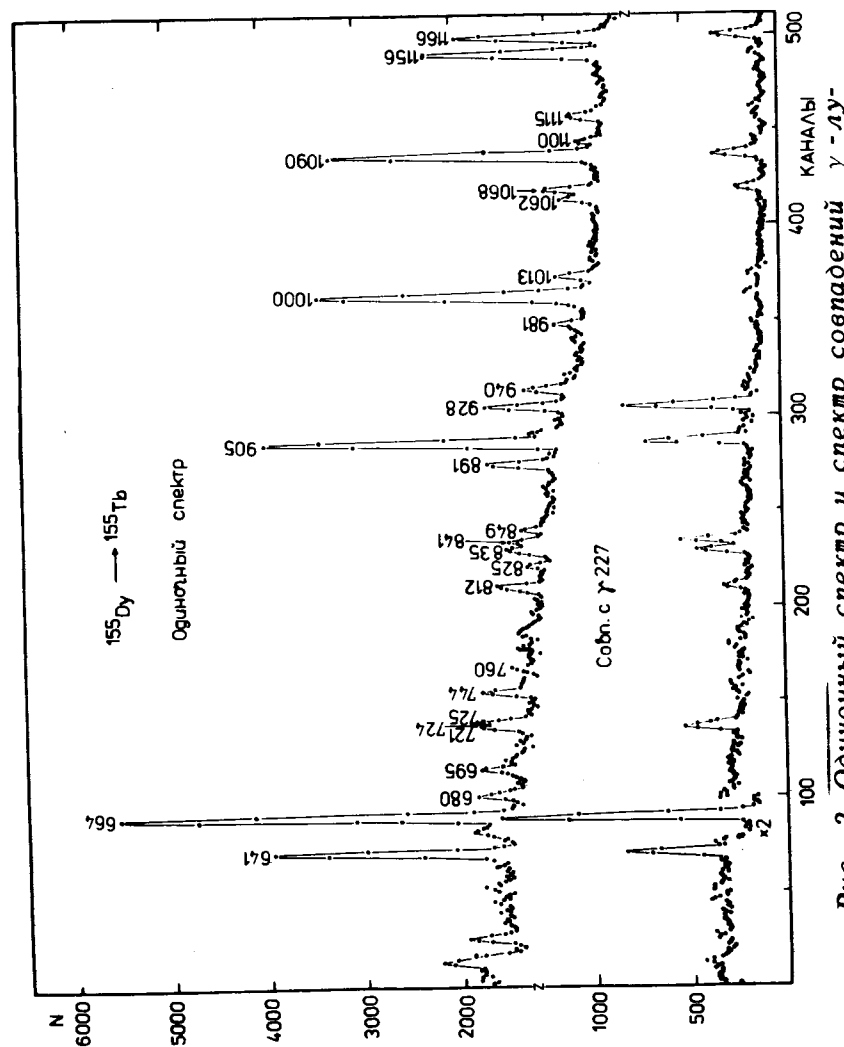


Рис. 2. Одиночный спектр и спектр совпадений  $\gamma$ -лучей с фотопиком 227 кэВ в  $^{155}\text{Tb}$ .

Угловые положения сцинтилляционных детекторов менялись циклическим образом с временем экспозиции 200 с. Спектры совпадений регистрировались в памяти 1024-канального анализатора импульсов, разделенной на два сектора.

Полученные в этих измерениях значения коэффициентов  $A_2$  функции угловой корреляции изучаемых каскадов с учетом поправок на телесные углы и эффективности детекторов приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Значения коэффициентов  $A_2$  функции  $\gamma\text{-}\gamma$  угловых корреляций в ядре  $^{155}\text{Tb}$

Каскад /кэВ/	$A_2 (A_4 = 0)$
641-/23/-227	-0,089±0,057
664-227	+0,343±0,016
724-227	-0,155±0,062
835-227	-0,297±0,066
841-227	-0,043±0,060
905-/23/-227	-0,058±0,068
928-227	-0,275±0,034

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Каскадные переходы, для которых нами определены значения коэффициентов  $A_2$  функции  $\gamma\text{-}\gamma$  угловой корреляции, связывают высоколежащие состояния 891, 951, 1062, 1068 и 1155 кэВ с основным состоянием  $^{155}\text{Tb}$ , через промежуточные состояния 250 и 227 кэВ.

Спины состояний 250 кэВ [ $7/2^-$ ] и 227 кэВ [ $5/2^-$ ] определены на основе анализа мультипольностей  $\gamma$ -переходов при радиоактивном распаде  $^{155}\text{Tb}$  /9, 10/ и в работах по ядерным реакциям /1, 2/. Спин основного состояния  $3/2^+$  установлен в экспериментах с атомными пучками /20/.

Исходя из этих данных и принимая переход 227 кэВ как чистый дипольный переход типа E1, мы попытались установить значения спинов начальных состояний исследуемых каскадов и определить мультипольный состав переходов 664, 724, 835, 844, 905 и 928 кэВ, для которых, по данным работ /6, 7, 9, 10/, следует приписать мультипольности типа M1 или M1+E2.

Совместный анализ значений коэффициентов  $A_2$  каскадов 641/E2/-23/M1+2% E2/-227 кэВ и 664-227 кэВ позволяет приписать уровню 891 кэВ спин 3/2 и определить коэффициент смешивания для перехода 664 кэВ:  $\delta /664 \text{ кэВ}/ = +0,36 \pm 0,05$  или  $+1,3 \pm 0,1$ . Учитывая значение коэффициента внутренней конверсии  $a_k /664 \text{ кэВ}/ /10/$ , следует отдать предпочтение первому значению  $\delta /664 \text{ кэВ}/$ .

Аналогичным образом из корреляций каскадов 905-23-227 кэВ и 928-227 кэВ вытекает значение 5/2 для спина уровня 1155 кэВ и следующие значения коэффициентов  $\delta_\gamma$  для переходов 905 и 928 кэВ:

$\delta /905 \text{ кэВ}/ = -/0,27 \pm 0,13/$  и  $\delta /928 \text{ кэВ}/ = -/0,28 \pm 0,93/$ .

Уровню 951 кэВ в работе /10/ предлагаются характеристики  $3/2^-$  или  $5/2^-$ . Коэффициент  $A_2$  каскада 724-227 кэВ при неизвестном мультипольном составе перехода 725 кэВ допускает также значение 7/2. Вероятно, что это состояние соответствует состоянию /950±3/ кэВ со спином и четностью  $3/2^-$ , которое наблюдалось в реакциях  $^{154}\text{Gd}(^3\text{He}, d)^{155}\text{Tb}^{2/}$ . Если это так, то переходу 724 кэВ следует приписать отрицательный знак коэффициента  $\delta_\gamma$ , и, по-видимому, значительную /~98%/ примесь мультипольности типа E2. Последний вывод находится в согласии со значением коэффициента внутренней конверсии  $a_k$  для этого перехода, полученного в работе /10/.

Состояния 1062 и 1068 кэВ, согласно данным работ /6, 7, 10/, имеют отрицательную четность и наиболее вероятные значения спинов 5/2 и 3/2, соответственно. Наши измерения угловых корреляций каскадов 835-227 кэВ и 841-227 кэВ подтверждают эти выводы и требуют приписать для перехода 835 кэВ мультиполь-

ность  $M1+5 \div 50\% E2$  и  $\delta_{\chi} < 0$ , а для перехода 841 кэВ - мультипольность  $M1+6_{-3}^{+4} / \% E2$  или  $M1+ \geq 99\% E2$  и  $\delta_{\chi} < 0$ .

Выводы о квантовых характеристиках исследуемых состояний и переходов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Квантовые характеристики исследуемых состояний и мультипольный состав некоторых переходов в ядре  $^{155}\text{Tb}$

$E_{ур} / 10 /$ (кэВ)	$\Gamma^{\pi}$	$E_{\gamma}$ (кэВ)	$6L$ а)	$\delta_{\Gamma}$ а)	$6L$ /10/
891,1	$3/2^{-}$	641,0	E2		E2
		664,0	$M1+(11,5 \pm 2,9)\% E2$	$+(0,36 \pm 0,05)$	M1
951,1	$3/2^{-}$	724,1	$M1+(98_{-4}^{+1})\% E2$ (или $M1+(16 \pm 8)\% E2$ )	$-(7 \pm 3)$ или $-(0,43 \pm 0,13)$	E2, E2+M1
1062,1	$(5/2)^{-}$	835,2	$M1+(5+50)\% E2$	$-(0,23 \pm 1)$	M1
1068,2	$(3/2)^{-}$	841,4	$M1+(6_{-3}^{+4})\% E2$ (или $M1+99\% E2$ )	$-(0,25 \pm 0,08)$	M1+E2
1155,4	$5/2^{-}$	905,6	$M1+(7_{-5}^{+7})\% E2$	$-(0,27 \pm 0,13)$	M1
		928,6	$M1+(8+46)\% E2$	$-(0,28 \pm 0,93)$	M1

а) Принято, что переход 227 кэВ типа E1.

Анализ вероятностей внутривращательных переходов позволил нам определить значения внутренних квадрупольных моментов и разности гироманнитных отношений  $(g_K - g_R)$  для ротационных полос  $3/2^{+}[411]$  и  $5/2^{-}[532]$  в  $^{155}\text{Tb}$ . Эти значения приведены в табл. 3.

Приняв для рассматриваемых полос, как и в соседних изотопах  $^{157}, ^{159}\text{Tb}$ , значение  $g_R \approx 0,4^{/23/}$ , мы вычислили значения магнитных моментов, которые приведены в табл. 4.

Таблица 3

Анализ вероятностей внутривращательных переходов в  $^{155}\text{Tb}$

$E_{\gamma}$ (кэВ)	$I_i \rightarrow I_f$ $K^{\pi}[N\pi, \Lambda]$	$6L$ /7/	$B(6L)$	$F_{\mu}(6L)$	$F_{\mu}(M1)$	$Q_0, \text{барн}$	$\beta_{20}$	$g_{\pi} - g_{\lambda}$ /
65,5	$5/2 \rightarrow 3/2$ $3/2^{+} / 411 /$	M1+ +1,3% E2	$(6,2 \pm 0,9) \cdot 10^{-2}$ $0,61 \pm 0,14$	26,6 $8,2 \cdot 10^{-3}$	3,6	$4,2 \pm 0,5$	$0,20 \pm 0,02$	$0,66 \pm 0,04$
90,4	$7/2 \rightarrow 5/2$ $3/2^{+} / 411 /$	M1+ +2,7% E2	$\geq 5,4 \cdot 10^{-2}$ $\geq 0,2$	$\geq 27$ $\geq 1,7 \cdot 10^{-2}$	4,9	$\geq 3,1$	$\geq 0,15$	$\geq 0,49$
155,8	$7/2 \rightarrow 3/2$ $3/2^{+} / 411 /$	E2	$\geq 0,084$	$\geq 4,3 \cdot 10^{-2}$		$\geq 2,5$	$\geq 0,12$	
23,1	$7/2 \rightarrow 5/2$ $5/2^{-} / 532 /$	M1+ +1,7% E2	$(2,05 \pm 0,50) \cdot 10^{-2}$ $0,91 \pm 0,29$	80,8 $0,55 \cdot 10^{-2}$	12,5	$5,1 \pm 0,8$	$0,24 \pm 0,04$	$0,25 \pm 0,03$

Таблица 4

Магнитные моменты состояний в нечетных изотопах Tb

ядро состояние	$^{153}\text{Tb} / 21 /$	$^{155}\text{Tb}$	$^{157}\text{Tb} / 22 /$	$^{159}\text{Tb} / 22 /$
	$3/2^{+} [411]$	1,2	$1,20 \pm 0,05$	$2,0 \pm 0,1$
$5/2^{-} [532]$	-	$1,17 \pm 0,05$	-	-
		или $0,55 \pm 0,05$		

В табл. 5 вероятности E1-переходов между ротационными полосами  $5/2^{-}[532]$  и  $3/2^{+}[411]$  в  $^{155}\text{Tb}$  сопоставляются с одночастичными оценками по Мошковскому и Нильсону. Полученные факторы торможения для рассматриваемых переходов хорошо согласуются с систематикой подобных переходов в деформированных ядрах  $^{24/}$ .

Таблица 5  
Вероятности E1-переходов в  $^{155}\text{Tb}$ .

$E_\gamma$ кэВ	$I_i$ 5/2 <sup>-</sup> [532]	$I_f$ 3/2 <sup>+</sup> [411]	$B(E1)$ эксп ( $e^2 \cdot \text{барн}$ )	$F_{sp}(E1)$	$F_N(E1)$
71,2	5/2	7/2	$2,11 \cdot 10^{-6}$	$2,95 \cdot 10^5$	1,41
161,5	5/2	5/2	$5,69 \cdot 10^{-6}$	$1,10 \cdot 10^5$	3,14
227,0	5/2	3/2	$1,20 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^3$	0,35
184,6	7/2	5/2	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$6,8 \cdot 10^3$	0,37

Авторы глубоко благодарны И.И.Громовой и Н.А.Лебедеву за приготовление радиоактивных источников, использованных в измерениях, Р.Р.Усманову и У.С.Салихбаеву - за помощь в измерениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. G. Winter, L. Funke, K.-H. Kaun, P. Kemnitz and H. Soudan. *Nucl. Phys.*, A176, 609 /1971/.
2. J. C. Tippett and D. G. Burke. *Can. J. Phys.*, 50, 3152 /1952/.
3. В. Гнатович, К. Я. Громов, Ф. И. Мухтасимов. Препринт ОИЯИ, Р-2729, Дубна, 1965.
4. А. Баланда, И. И. Громова, К. Зубер, К. Круляс. Препринт ОИЯИ, Д6-5783, Дубна, 1971.
5. L. Persson and H. Ryde. *Ark. Phys.*, 25, 397 /1963/.
6. J. Jursik, V. Hnatovicz and J. Zvolisky. *Czech. J. Phys.*, B19, 870 /1969/.
7. V. Harmatz and T. H. Handley. *Nucl. Phys.*, A191, 497 /1972/.
8. P. H. Blichert-Toft, E. G. Funk and J. W. Mihelich. *Nucl. Phys.*, A100, 369 /1967/.
9. J. L. Barat and J. Theherne. *Nucl. Phys.*, A199, 386 /1973/.
10. К. Зубер, Ц. Вылов, И. И. Громова, Я. Зубер. Сообщение ОИЯИ, 6-8517, Дубна, 1975.
11. Б. А. Аликов, Г. И. Лизурей, Т. М. Муминов, С. Орманджиев, У. С. Салихбаев, Р. Р. Усманов, И. Холбаев. Препринт ОИЯИ, Р13-9516, Дубна, 1976.

12. Б. А. Аликов, М. Будзынски, Я. Ваврыщук, В. Жук, Р. Ион-Михай, Э. Крупа, Г. И. Лизурей, М. М. Маликов, Т. М. Муминов, Я. Сажински, В. И. Стегайлов, М. Суботович, В. Таньска-Крупа, В. И. Фоминых, И. Холбаев. Препринт ОИЯИ, Р13-9607, Дубна, 1976.
13. Б. А. Аликов, М. Будзынски, Р. Ион-Михай, В. А. Морозов. ЭЧАЯ, том 7, вып. 2, 419 /1976/.
14. Я. Ваврыщук, В. А. Морозов, Т. М. Муминов, В. И. Разов, Я. Сажински. Препринт ОИЯИ, Р6-5484, Дубна, 1970.
15. W. Meiling and F. Stary. *Nucl. Phys.*, 80, 74 /1966/.
16. П. Бедроян, А. С. Кучма, В. А. Морозов. ЯФ, 4, 905 /1966/.
17. U. Hauser, G. Knissel. *Phys. Lett.*, 24B, 232 /1967/.
18. S. G. Malskog, A. Marelius and S. Wahlborn. *Nucl. Phys.*, A103, 481 /1967/.
19. А. Кокеш, И. Звольски. Изв. АН СССР, сер. физ., 31, 133 /1967/.
20. A. Rosen and H. Nyqvist. *Physica Scripta*, v. 6, 24 /1972/.
21. Б. А. Аликов, Я. Ваврыщук, К. Я. Громов, Р. Ион-Михай, Н. З. Марупов, Т. М. Муминов, И. Холбаев. Препринт ОИЯИ, Р6-10043, Дубна, 1976.
22. V. S. Shirley. *Hyperfine Interactions in Excited Nuclei*. Ed. by G. Goldring and R. Kalish, New-York, London, Paris, p. 1255, 1971.
23. М. И. Базнат, Н. И. Пятов, М. И. Черней. ЭЧАЯ, том 4, вып. 4, 941 /1973/.
24. L. Andrejtscheff, K. D. Schilling. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 16, 515 /1975/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 декабря 1976 года.