

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С 341.22
А-656

25/10-77
Р6 - 10577

2784/2-77

В.Андрейчев, В.Зайдель, В.Г.Калинников, Л.Койблер,
Ф.Р.Май, Н.З.Марупов, Т.М.Муминов, К.Д.Шилинг

ВРЕМЕНА ЖИЗНИ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ
НЕКОТОРЫХ НЕЧЕТНО-НЕЧЕТНЫХ
ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР

1977

P6 - 10577

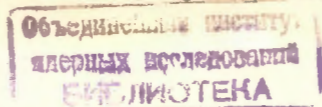
В.Андрейчев,¹ В.Зайдель, В.Г.Калинников, Л.Койблер,²
Ф.Р.Май, Н.З.Марупов,³ Т.М.Муминов,³ К.Д.Шилинг²

ВРЕМЕНА ЖИЗНИ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ
НЕКОТОРЫХ НЕЧЕТНО-НЕЧЕТНЫХ
ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР

¹ Институт ядерных исследований и ядерной
энергетики БАН, София.

² Центральный институт ядерных исследований,
Россендорф, ГДР.

³ Самаркандский государственный университет.



Андрейчев В. и др.

P6 - 10577

Времена жизни возбужденных состояний некоторых нечетно-нечетных деформированных ядер

Методом $\gamma\gamma$ - и γe -задержанных совпадений измерены времена жизни некоторых уровней в нечетно-нечетных деформированных ядрах ^{160}Tb , $^{156,158,162,164,166}\text{Ho}$, ^{162}Tm и $^{186,188}\text{Re}$. В этих ядрах измерены периоды полураспада 35 возбужденных состояний, из которых 26 результатов получены впервые. Значения экспериментальных приведенных вероятностей электромагнитных переходов, разряжающих исследуемые состояния, сравниваются с соответствующими одночастичными оценками по Вайскопфу и Нильссону, а также по Нильссону с учетом парных корреляций. Внесены изменения в схему распада $^{156}\text{Er} - ^{156}\text{Ho}$: введен уровень 87 кэВ с $I^\pi = 1^-$ разряжающийся E1-переходом 35 кэВ на изомерное состояние 52 кэВ с $I^\pi = 2^+$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и в ЦИЯИ (Россендорф).

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Andrejtscheff W. et al.

P6 - 10577

Lifetimes of Excited States in Some Doubly Odd Deformed Nuclei

The lifetime measurements have been performed in the doubly odd deformed nuclei ^{160}Tb , $^{156,158,162,164,166}\text{Ho}$, ^{162}Tm and $^{186,188}\text{Re}$ using the $\gamma\gamma$ - and γe -delayed coincidence method. Half-lives for 35 excited states, among them 26 unknown so far, have been obtained. The experimental reduced transition probabilities are compared to single-particle Weisskopf and Nilsson estimates as well as to Nilsson estimate taking into account pairing correlations.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

ВВЕДЕНИЕ

При изучении вероятностей электромагнитных переходов в деформированных ядрах, нечетных по массовому числу A , обнаружены эффекты, связанные с влиянием различных деталей ядерной структуры: спаривания, смешивания одноквазичастичных конфигураций, квадрупольных и гексадекапольных деформаций $\epsilon_2 - \epsilon_4$, квазичастично-фононного взаимодействия ^{1/1}.

Физическая природа состояний в нечетно-нечетных ядрах, по сравнению с нечетными по A ядрами, более усложнена, и их свойства изучены значительно слабее. Помимо всех наблюдаемых в нечетных ядрах эффектов в нечетно-нечетных ядрах существенную роль играют протон-нейтронные взаимодействия ^{2/2}. Кроме запретов по проекции спина K и асимптотическим квантовым числам, в нечетно-нечетных ядрах для электромагнитных переходов проявляются два дополнительных специфических запрета:

а/ допускаются переходы только одной квазичастицы, двухквазичастичные переходы запрещены / f -запрет/;

б/ действие K -запрета расширяется при учете взаимной ориентации проекций спинов двух неспаренных частиц / Ω -запрет/. Влияние этих запретов на вероятности γ -переходов ослабляется из-за сильного смешивания конфигураций в нечетно-нечетных ядрах ^{3,4/}.

В настоящей работе приведены экспериментальные результаты по изучению времен жизни возбужденных состояний в некоторых нечетно-нечетных деформированных ядрах.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения времен жизни ядерных уровней производились в ядерных реакциях типа (p, n) на тандеме ЭГП-10 и реакциях (n, γ) на исследовательском реакторе ВВР-С ЦИЯИ в Россендорфе, а также при радиоактивном распаде ядер, полученных в реакциях глубокого расщепления при облучении мишеней Т на синхроциклотроне ОИЯИ в Дубне. В реакциях применялся метод задержанных γ - γ -совпадений с использованием в стартовом канале сцинтилляционного детектора /пластический сцинтиллятор или кристалл NaI(Tl) / и Ge(Li) - детектора - в стоповом ^{5/}.

При радиоактивном распаде измерения проводились в режиме $\gamma\epsilon$ - задержанных совпадений с использованием сцинтилляционных детекторов /пластические сцинтилляторы типа NE111 и NE104, фотоумножители типа XP1020/, для энергетической селекции электронов внутренней конверсии в канале "Стоп" использовался магнитно-линзовый β -спектрометр ^{6/}.

На рис. 1-4, 6, и 7 для иллюстрации приведены некоторые измеренные временные распределения задержанных совпадений. На рис. 5 приведена схема уровней ¹⁸⁸Re.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальные значения измеренных времен жизни, способы возбуждения уровней /в реакциях или при распаде/ и данные о вероятностях электромагнитных переходов приведены в табл. 1. Все времена жизни уровней, приведенные в таблице, измерены впервые авторами этой работы, за исключением отмеченных звездочкой /являющихся уточнением или повторением результатов более ранних работ, цитированных в колонке II/. Ошибки измерения времен жизни $T_{1/2 \text{ эксп.}}$ не превышают 10%. Парциальные времена $T_{1/2 \text{ эксп.}}$ приведенные вероятности $B(\sigma L)$ и факторы запрета

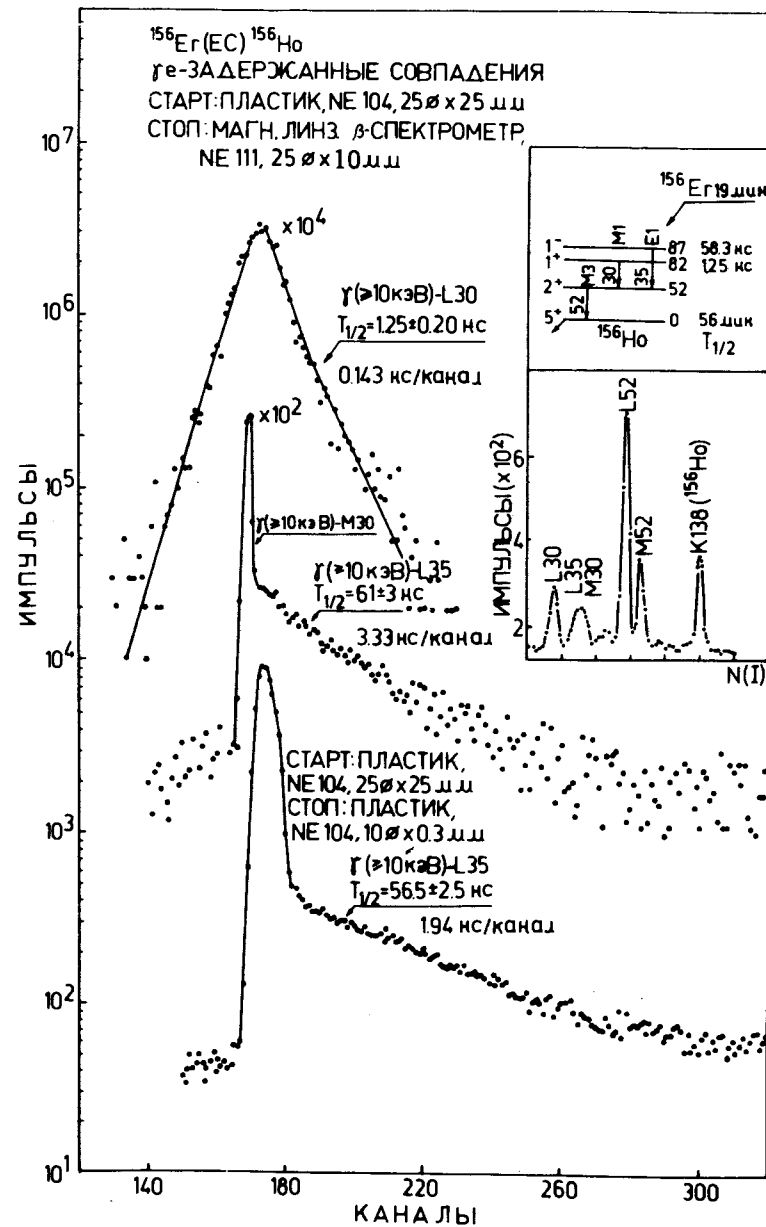


Рис. 1

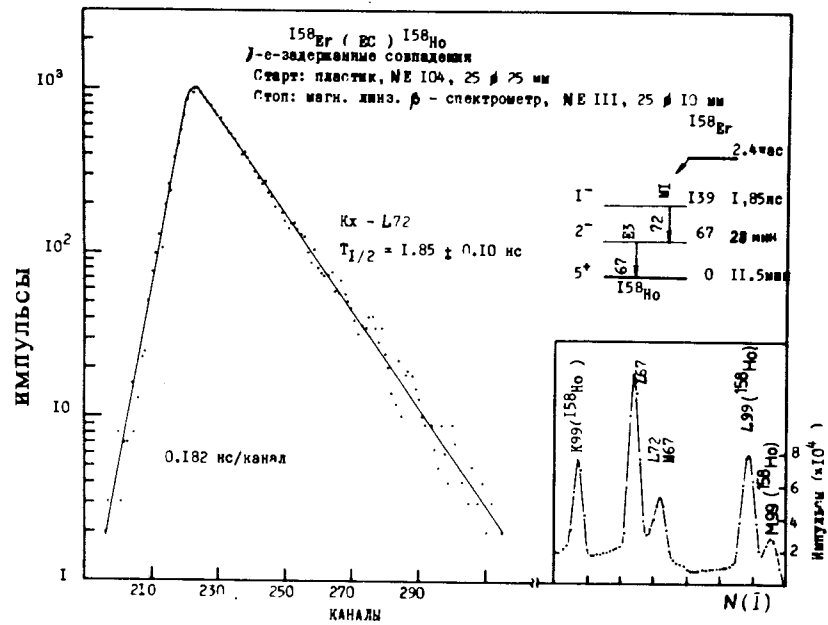


Рис. 2

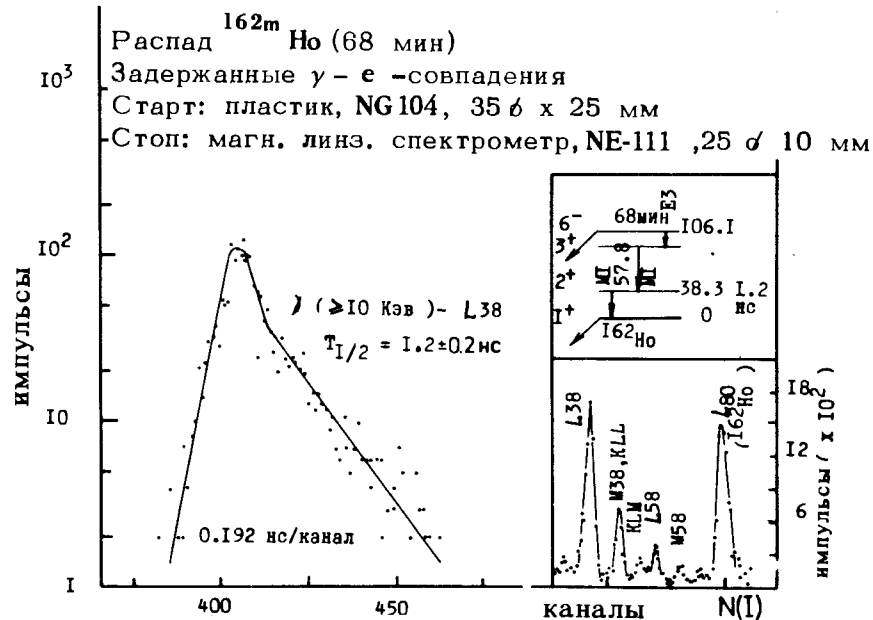


Рис. 3

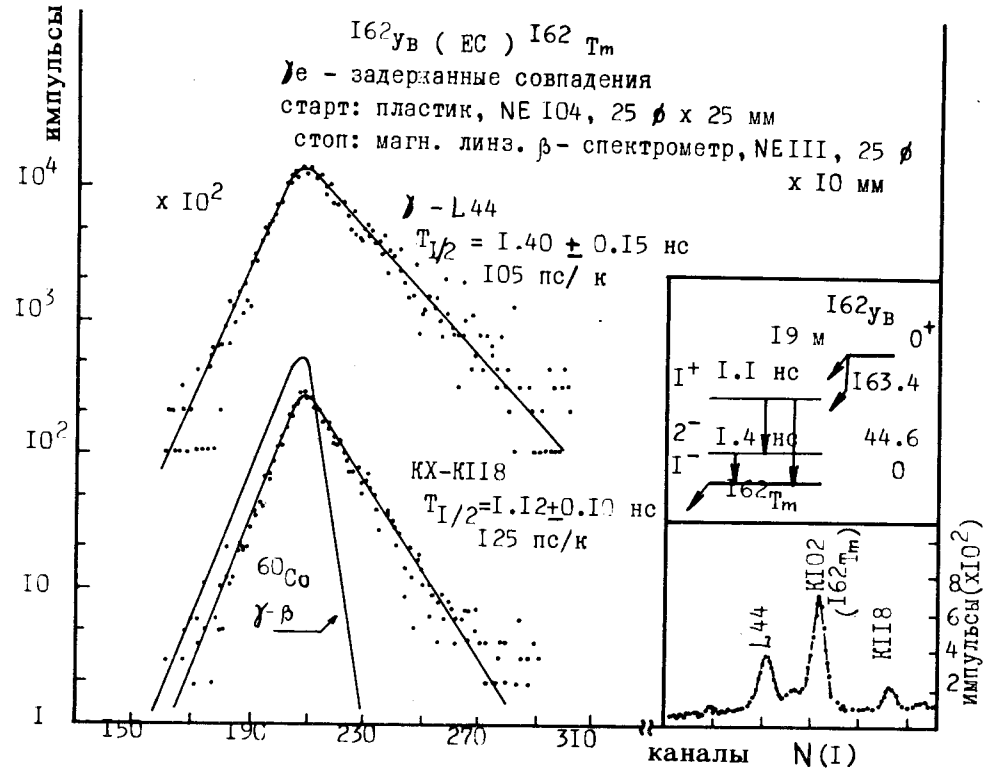


Рис. 4

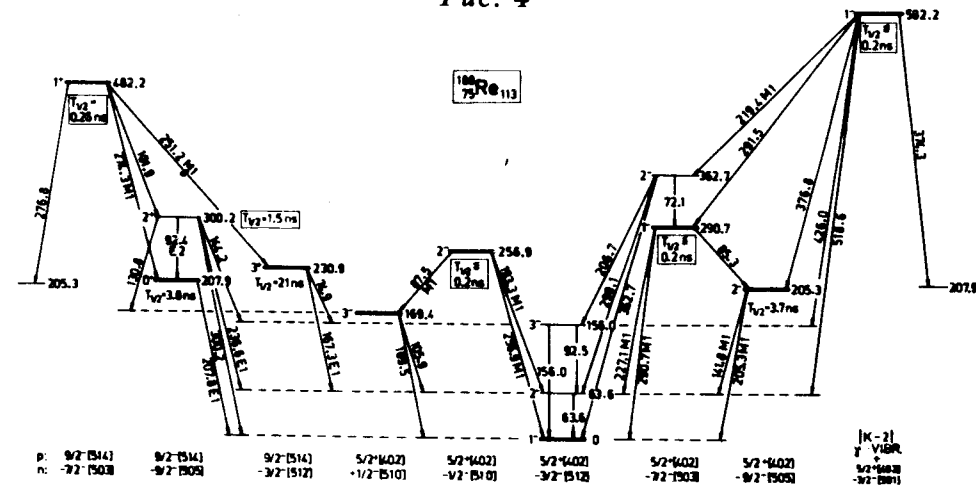


Рис. 5

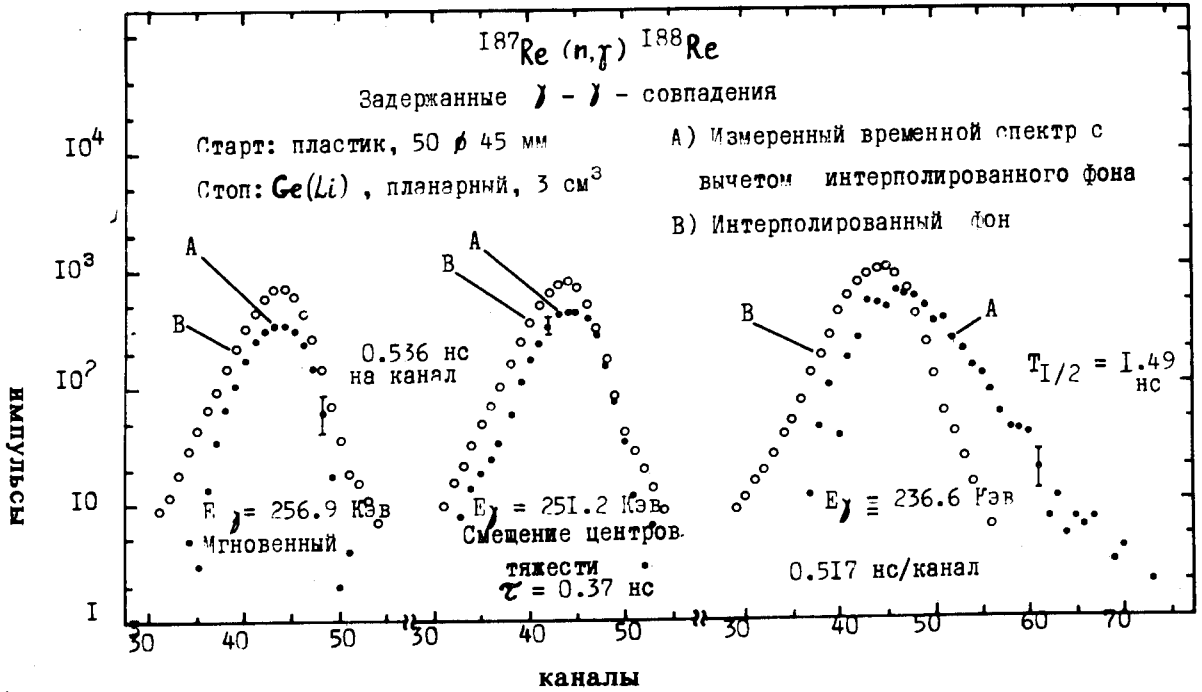


Рис. 6

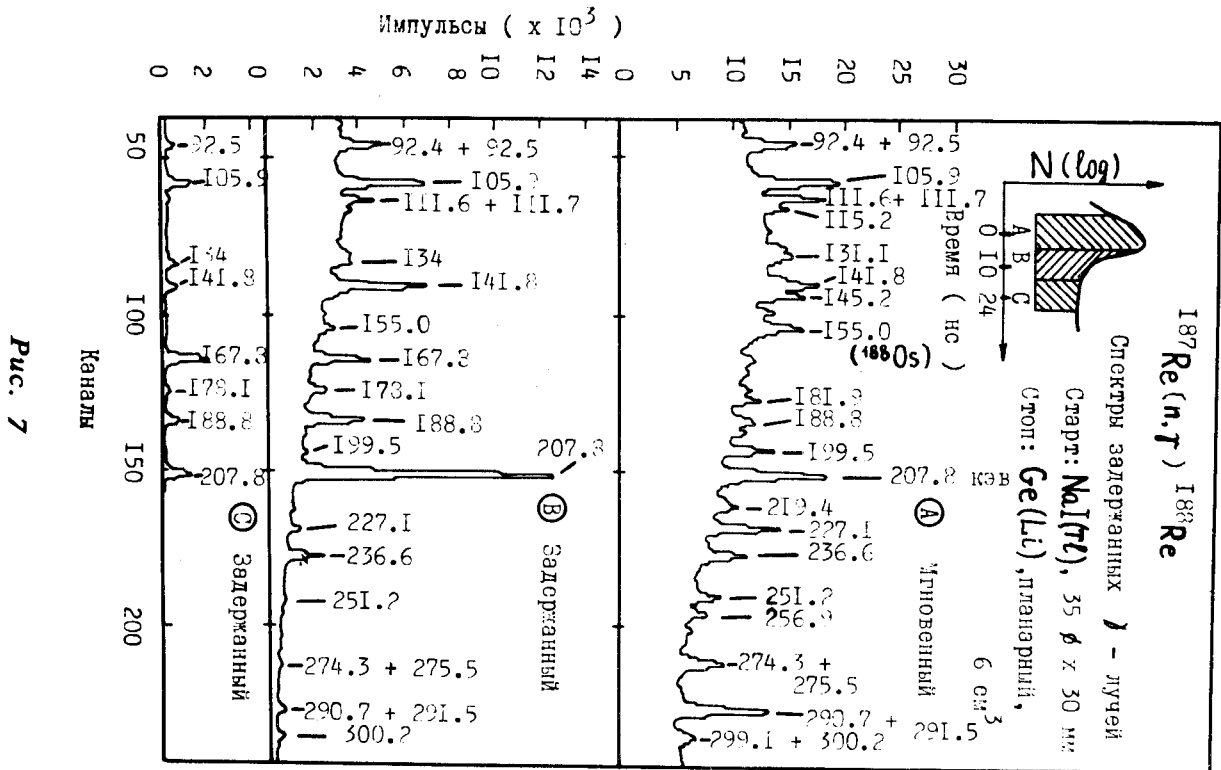


Рис. 7

Таблица I

Новые экспериментальные результаты $T_{I/2}$ эксп. и вероятности γ - переходов

Уровень (кэВ) а) $T_{I/2}$ эксп. (сек)	$E\gamma$ (кэВ)	Начальное состояние ($2\Omega N n_2 \Lambda$) p, n $J\pi^P$	Конечное состояние ($2\Omega N n_2 \Lambda$) p, n $J\pi^P$	Мульти- польн. δ^2	$T_{I/2}$ эксп. (сек)	$B(\epsilon L)$	F_W	F_N	F_W^P	Лите- рату- ра
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$^{160}\text{Gd} (p, n) ^{160}\text{Tb}$										
63,7 6,0-8	63,7	34II/5523 II ⁻	34II/352I 33 ⁻	E2	I,0-6	5,4-2	9,7-2	2Ω		/9/
64,1 ≤ 2-9	64,1	34II/5642 44 ⁺	34II/352I 33 ⁻	E1	≤ 3,8-9	≥ 4,3-6	≤ 7,3+2			
138,7 5,7-9	75,1	34II/5642 II ⁺	34II/5523 II ⁻	E1	I,4-8	7,4-7	4,3+3	2,0	2,6-3	
	59,6		34II/352I 00 ⁻	E1	4,2-8	4,9-7	6,4+3	3,8	3,6-1	
	33,2		34II/5523 2I ⁻	E1	2,4-7	5,0-7	6,4+3	3,0	3,8-3	
$^{156}\text{Er} (EC) ^{156}\text{Ho}$										
82,0 1,25-9	30	7523/5523 II ⁺	7523/552I 22 ⁺	MI I,1-2	2,1-8	7,2-2	15	2,4-1	2,3-1	/18/
				E2	1,9-5	1,2-1	4,0-2	2,1-5	1,2-5	
87,0 5,83-8	35	14II/352I II ⁻	7523/352I 22 ⁺	E1	1,2-7	8,5-7	4,1+3	2Ω		
$^{158}\text{Er} (EC) ^{158}\text{Ho}$										
139,2 1,85-9	71,95	14II/352I II ⁻	14II/5523 22 ⁻	MI 8,0-3 E2	1,5-8 1,9-6	7,0-3 1,5-2	2,5+2 3,3-1	2,4 5,9-4	2,3 1,6-4	/10/
$^{162m}\text{Ho} (\gamma) ^{162g}\text{Ho}$										
38,3 1,2-9	38,3	7523/5523 2I ⁺	7523/5523 II ⁺	MI	I,0-8	6,7-2	26		pot.	/11/
$^{164}\text{Dy} (p, n) ^{164}\text{Ho}$										
188,6 ≤ 5-10	94,6	7523/152I 33 ⁺	7523/5523 3I ⁺	MI	≤ 2,1-9	≥ 2,2-2	≤ 80		I K I Ω	/12/
342,8 2,6-9	202,8	7523/352I 55 ⁺	7523/5642 66 ⁻	E1	2,7-9	2,0-7	1,7+4	30	I6	
$^{165}\text{Ho} (n, \gamma) ^{166}\text{Ho}$										
260,7 ≤ 5-10	69,8	7523/152I 43 ⁺	7523/152I 33 ⁺	MI	≤ 4,3-9	≥ 2,7-2	≤ 65		pot.	/13,14/
263,8 ≤ 5-10	257,8	7523/352I 55 ⁺	7523/7633 77 ⁻	M2	≤ 1,3-8	≥ 35	≤ 1,4-2	≤ 4,1-3	≤ 2,1-3	
	72,9		7523/152I 33 ⁺	E2	≤ 1,7-8	≥ 1,6	≤ 3,3-3			
	3,1		7523/152I 34 ⁺	(MI)						
295,1 1,1-9	289,1	7523/5512 66 ⁺	7523/7633 77 ⁻	E1	1,1-9	1,6-7	2,0+4			

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
372,0 ≤ 2-10	181,1 III,3 108,2	7523/152I 44 ⁺	7523/452I 33 ⁺ 43 ⁺ 7523/352I 55 ⁺	MI MI MI	≤ 1,0-9 ≤ 2,1-9 ≤ 1,5-9	≥ 6,5-3 ≥ 1,4-2 ≥ 2,0-2	≤ 2,7+2 ≤ 1,3+2 ≤ 87			
373,1 ≤ 2-10	290,6	I41I/152I II ⁻	7523/7633 10 ⁻	MI	≤ 2,3-10	≥ 7,1-3	≤ 2,5+2	f		
416,1 ≤ 2-10	333,6 245,0	I41I/152I 2I ⁻	7523/7633 10 ⁻ 30 ⁻	MI MI	≤ 3,8-10 ≤ 5,8-10	≥ 2,8-3 ≥ 4,6-3	≤ 6,3+2 ≤ 3,8+2	f f		
430,0 ≤ 2-10	239,1	7523/352I 22 ⁺	7523/152I 33 ⁺	MI	≤ 2,5-10	≥ 1,2-2	≤ 1,5+2			
475,7 ≤ 2-10	304,6 (102,6)	I41I/152I 3I ⁻	7523/7633 30 ⁻ I41I/152I II ⁻	MI (E2)	≤ 2,3-10 ≤ 3,7-8	≥ 6,1-3 ≥ 1,3-1	≤ 2,9+2 ≤ 4,1-2	f		pot.
481,8 ≤ 2-10	221,2 51,8	7523/352I 32 ⁺	7523/152I 43 ⁺ 7523/352I 22 ⁺	MI MI	≤ 3,1-10 ≤ 5,2-9	≥ 1,2-2 ≥ 5,5-2	≤ 1,5+2 ≤ 32			pot.

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
162 _{yB} (EC) 162 _{Tm}										
44,6 1,4-9	44,6	I41I/352I 2I ⁻	I41I/352I II ⁻	MI E2	2,0-8 2,7-7	2,2-2 1,2	8I 4,5-3		pot.	/15/
163,4 1,1-9	163,4 118,7	7523/5523 II ⁺	I41I/352I II ⁻ 2I ⁻	EI EI	2,15-9 3,0-9	4,7-7 8,7-7	4,2+4 2,2+4			
185 _{Re} (n, γ) 186 _{Re}										
99,4 2,55-8 ^h	99,4 40,4	5402/1510 33 ⁻	5402/3512 II ⁻ 2I ⁻	E2 MI E2	1,4-6 5,0-7 5,0-5	4,1-3 1,2-3 1,0-2	1,5 1,5+3 6,1-1	IK IΩ		/16/
210,7 ≤ 2-10	210,7 151,7 111,3 64,4	5402/1510 22 ⁻	5402/3512 II ⁻ 2I ⁻ 5402/1510 33 ⁻ 5402/3512 3I ⁻	MI (MI) (MI) (MI)	< 1,2-9 < 1,4-9 < 2,9-9 < 7,2-8	> 3,5-3 > 7,9-3 > 9,8-3 > 2,1-3	< 5,1+2 < 2,3+2 < 1,8+2 < 8,6+2			

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
314,0 2,5-8 ^н	255,0	(5402/II6I5) 33 ⁺	5402/35I2 2I ⁻	EI	9,8-2	2,9-9	1,2+6	3Ω IK		
	214,6		5402/1510 33 ⁻	EI	4,9-8	9,0-9	3,9+5	5Ω		
	167,7		5402/35I2 3I ⁻	EI	6,7-7	1,4-9	2,5+6	IK 3Ω		
	103,3		5402/1510 22 ⁻	EI	2,6-7	1,5-8	2,3+5	4Ω		
(330) 1,70-8 ^н	144,2	95I4/1510 (55 ⁺)	5402/7503 66 ⁻	EI	2,8-8	7,5-8	2,8+5	f		
35I,2 <2-10	25I,8	(95I4/35I2) (33 ⁺)	5402/1510 33 ⁻	EI	<2,1-10	>1,3-6	<1,6+4	f		
	205,0		5402/35I2 3I ⁻	(EI)	<1,6-8	>3,2-8	<2,4+5	IK IΩ		
			$187_{R_a(n, j)} \quad 188_{R_c}$							
182,7 2,0-8 ^н	13,3	5402/35I2 44 ⁻	5402/1510 33 ⁻	MI	7,6-6	2,2-3	8,1+2			/I7/
205,3 3,7-9 ^н	205,3	5402/9505 22 ⁻	5402/35I2 II ⁻	MI	3,6-8	1,3-4	1,4+4	2Ω		
	141,8		2I ⁻	MI	1,4-8	1,0-3	1,7+3	2Ω		

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
207,9 3,8-9 ^н	207,8	95I4/9505 00 ⁺	5402/35I2 II ⁻	EI	4,0-9	1,2-7	1,8+5	f		
230,9 2,1-8 ^н	167,3	95I4/35I2 33 ⁺	5402/35I2 2I ⁻	EI	5,9-8	1,6-8	4,9+5	IK IΩ		
	74,9		3I ⁻	EI	6,6-8	1,6-7	4,9+4	IK IΩ		
256,9 ε 2-10	256,9	5402/1510 22 ⁻	5402/35I2 II ⁻	MI	ε 6,5-10	ε 3,6-3	ε 5,0+2			
	193,3		2I ⁻	MI	ε 1,4-9	ε 3,9-3	ε 4,6+2			
	87,5		5402/1510 33 ⁻	MI	ε 5,7-9	ε 1,0-2	ε 1,7+2			
290,7 ε 2-10	290,7	5402/7503 II ⁻	5402/35I2 II ⁻	MI	ε 4,1-10	ε 3,9-3	ε 4,5+2	IΩ		
	227,1		2I ⁻	MI	ε 8,8-10	ε 3,8-3	ε 4,6+2	IΩ		
	85,3		5402/9505 22 ⁻	(MI)	ε 5,5-8	ε 1,1-3	ε 1,5+3			
300,2 1,5-9 ^н	300,2	95I4/9505 20 ⁺	5402/35I2 II ⁻	(EI)	7,0-9	2,3-8	9,3+5	f		
	236,6		2I ⁻	EI	4,0-9	8,4-8	2,6+5	f		
	144,2		3I ⁻	(EI)	1,3-7	1,1-8	1,9+6	f		
	130,8		5402/1510 33 ⁻	(EI)	3,0-7	6,5-9	3,3+6	f		
	92,4		95I4/9505 00 ⁺	E2	2,8-8	3,0-1	2,1-2	-		pot.

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
360,9 5,6-9*	188,8	9514/1510 55 ⁺	5402/7503 66 ⁻	EI	8,9-9	7,3-8	2,9-5	f		
	178,1		5402/3512 44 ⁻	EI	3,4-8	2,3-8	9,4+5	f		
	130,0		9514/3512 33 ⁺	E2	9,6-8	1,6-2	4,1-1			
482,2	276,8	9514/7503 II ⁺	5402/9505 22 ⁻	(EI)	1,6-8	1,3-8	1,6+6			
4,6-10	274,3		9514/9505 00 ⁺	MI	9,6-10	2,0-3	8,9+2			
	251,2		9514/3512 33 ⁺	MI	8,5-10	2,9-3	6,1+2	DK		11,1
	181,9		9514/9505 20 ⁺	(MI)	2,6-9	2,5-3	7,0+2			
582,2	518,6	K ₀ -2/ γ -ядр.	21 ⁻	(MI)	$\leq 2,9-9$	$\geq 9,6-5$	$\leq 1,8-4$			
42-10			5402/3501 II ⁻	(E2)	$\leq 3,5-9$	$\geq 1,1-3$	$\leq 5,6$			
	426,0			(MI)	$\leq 6,7-9$	$\geq 1,1-4$	$\leq 1,6+4$			
	376,8			(EI)	$\leq 6,7-9$	$\geq 1,2-8$	$\leq 1,7+6$			
	374,3			(MI)	$\leq 5,9-10$	$\geq 2,7-3$	$\leq 6,5+2$			
	291,5			MI	$\leq 8,6-10$	$\geq 4,4-3$	$\leq 4,1+2$			
	219,4									

Пояснения к табл.: уровень (кэВ) - энергия уровня в кэВ; E⁺ - энергия γ -перехода, 3411/5523 - асимптотическое квантовое число $\{p\ 3/2/411/, n\ 5/2/523/\}$. Зашрифта 6,0-8 означает 6,0x10⁻⁸. Приведенные вероятности B($\epsilon\gamma$) даны в единицах ϵ^2 для электрических и μ^2 для магнитных переходов. Сведения о характеристиках уровней и мультипольности переходов заимствованы из литературы, ссылки на которую приведены в колонке II.

а) Ошибка в определении $T_{1/2}$ не превышает 10%.

по Вайскопфу F_w , по Нильссону F_N , а также по Нильссону с учетом парных корреляций F_N^P , рассчитаны по формулам, приведенным в обзорной работе /7/. В таблицах указаны также степени K и Ω -запрета переходов.

Сравнение экспериментальных результатов с указанными модельными расчетами обнаруживает, что экспериментальные вероятности γ -переходов в нечетно-нечетных ядрах в первом приближении ведут себя подобно величинам в соседних нечетных по A ядрах. Для более детальных выводов необходимо проанализировать смешивание конфигураций в исследуемых состояниях. Такой анализ связан с трудоемкими расчетами /8/. Он будет проведен нами позднее.

В настоящей работе исследовалось влияние разностей квадрупольных деформаций начального и конечного состояний для электрических дипольных переходов ($\epsilon_{2i} \neq \epsilon_{2f}$). Расчеты равновесной деформации начального и конечного состояний исследуемого ядра проводились по процедуре, подробно описанной в работе /7/ с учетом блокировки квазичастичных состояний неспаренного протона и нейтрона. Для большинства случаев E1-переходов, для которых определена величина $B(E1)_{\text{эксп.}}$, разница деформаций $\Delta\epsilon_2 = |\epsilon_{2i} - \epsilon_{2f}|$ не превышает значения $\Delta\epsilon_2 \leq 0,01$. Как и следовало ожидать, такие разницы $\Delta\epsilon_2$ практически не влияют на расчетные величины $B(E1)_{\text{теор.}}$. В табл. 2, для примера, приведены расчеты ϵ_2 для различных состояний в ядре ¹⁷⁶Lu. Для двухквазичастичного состояния $p1/2^-$, /541/, $n7/2^-$ /514/ наблюдается $\Delta\epsilon_2 = 0,02$. В нечетных ядрах протонные состояния $1/2^-$ /541/ имеют равновесную

Таблица 2

Теоретические значения равновесных деформаций ϵ_2 некоторых двухквазичастичных состояний в ¹⁷⁶Lu

(2 $\Omega_N n_A$) p, n	p740n/n962n	p740n/n1510	p1541/n751n	p740n/n751n	p740n/n5512	p9514/n751n
ϵ_2 теор.	0,258	0,256	0,275	0,258	0,258	0,255

деформацию ϵ_2 на $\Delta\epsilon_2 \approx 0,03$ большую, чем у основного состояния, и такая разница $\Delta\epsilon_2$ может влиять на расчетную величину $V(E1)_{\text{теор.}}$.

Авторы благодарны профессорам К.Я.Громову, Ж.Т.Желеву, доктору Ф.Стари за внимание и интерес к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрейчев В. ЭЧАЯ, 1976, 7, 4, с.1039.
2. Boisson J.P., Piepenbring R., Ogle W. *Phys. Rep.*, 1976, 36C, p.99.
3. Andrejtscheff W., Manfrass P., Seidel W. *Nucl.Phys.*, 1974, A226, p.142.
4. Тамберг Ю.А. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1976, 40, с.775.
5. Schilling K.D. e.a. *Nucl.Phys.*, 1976, A265, p.58.
6. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, P13-9516, Дубна, 1976.
7. Andrejtscheff W., Schilling K.D., Manfrass P. *Atomic Data and Nucl. Data Tables*, 1975, 16, p.515.
8. Andrejtcheff W. e.a. *Phys.Lett.*, 1973, 44B, p.351.
9. Kern J. e.a. *Nucl.Phys.*, 1974, A221, p.333.
10. Бунцев В.С. и др. Программа и тезисы докладов XXIII Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Наука, М., 1973, с.84.
11. Buurn A. *Nuclear Data Sheets*, 1976, 17, p.97.
12. Walther K., Funke L. *Jahesbericht, ZFK-243*, 58 (1972).
13. Motz H.T. e.a. *Phys. Rev.*, 1967, 155, p.1265.
14. Prokofjev P. e.a. *Spectra of Electromagnetic Transitions and Level Schemes Following Thermal Neutron Capture by Nuclides with $A=143 \div 193$* , Zinatne, Riga (1973).
15. Abdurazakov A.A. e.a. *Czech. J.Phys.*, 1975, B25, p.626.
16. Glatz J. Z. *Physik.*, 1973, 265, p.335; *Dissertation T.U.Munchen* (1972).
17. Shera E.B. e.a. *Phys. Rev.*, 1972, C6, p.537.
18. Александров А.А. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1975, 39, с.1661.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 апреля 1977 года.