

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P6-87-219

**М.А.Баратова, К.Я.Громов, Т.А.Исламов,
Г.А.Кононенко, А.Х.Холматов,
В.М.Цупко-Ситников**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
МУЛЬТИПОЛЬНОСТИ γ -ПЕРЕХОДОВ
В ЯДРАХ La, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb
НА ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ
МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ БЕТА-СПЕКТРОГРАММ**

Направлено в журнал "Известия АН СССР,
серия Физическая",
Оргкомитет 37 Совещания по ядерной спектроскопии
и структуре атомного ядра, г.Юрмала, апрель 1987 г.

1987

Магнитные бета-спектрографы с постоянным однородным магнитным полем и фотографической регистрацией электронов /1/ известны в ядерной физике довольно давно. К их преимуществам можно отнести простоту конструкции и возможность получения высокого энергетического разрешения и высокой точности измерений энергии электронных линий. Низкая светосила этих приборов компенсируется "многоканальностью" - возможностью одновременной регистрации весьма широкого участка спектра. Фотографический метод регистрации приводит к трудностям при определении относительных интенсивностей линий электронов внутренней конверсии, особенно при оценке погрешностей этих измерений.

На протяжении ряда лет в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ (Дубна) был рассмотрен весь комплекс проблем обработки и анализа спектров электронов внутренней конверсии (ЭК), получаемых на магнитных бета-спектрографах /2-9/.

Для получения точных количественных значений параметров фотографических изображений спектров ЭК необходимо произвести измерения в десятках, а в ряде случаев в сотнях тысяч точек на одной лишь бета-спектрограмме. Решить данную задачу с помощью доступных промышленных микрофотометров типа МР-2 или МР-4 и им подобным было невозможно, так как они рассчитаны на ручной режим работы. В связи с этим в 1976 г. нами было разработано устройство для автоматического фотометрирования (УАФ) бета-спектрограмм с приводами каретки на шаговых двигателях на линии с малой ЭВМ /2,3/. В дальнейшем УАФ было модернизировано. Модернизация заключалась в дополнении УАФ узлом аналоговой обработки видеосигнала с целью получения на выходе устройства сигнала в единицах

оптической (D) или "электронной" (Q) плотности для прямого вывода на график без участия ЭВМ. Для этого непосредственно к УАФ был подключен планшетный самописец /5,9/. Аппаратурная погрешность измерения оптической плотности, обусловленная нестабильностью источников питания фотоумножителя и осветителя, шумами и темновым током ФЭУ, составляет 0,3% для $D = 3$ и достигает 2% при измерении $D = 0,1$. Погрешность в измерении D за счет временной нестабильности измерительного тракта составляет 1% за 30 минут работы устройства и может быть уменьшена в несколько раз за счет сокращения времени фотометрирования при обработке бета-спектрограмм отдельными фрагментами /9/.

Двухкоординатный привод устройства выполнен на шаговых двигателях и позволяет осуществлять сканирование прямоугольным растром объектов размерами 400x80 мм. Дискретность отсчетов координат для Y -привода составляет 25 мкм, для X -привода - 1000/240 мкм. Погрешность измерения координаты X -приводом не превышает 10 мкм на базе перемещения до 100 мм.

В работах /4,6-8/ подробно рассмотрены вопросы методики обработки и анализа спектров ЭК, получаемых на магнитных бета-спектрографах. Основные результаты сводятся к следующим положениям:

I. При обработке бета-спектрограмм необходимо тщательно учитывать все искажающие факторы, которые могут оказывать влияние на форму спектральной линии ЭК, и принимать специальные меры с целью сведения этого влияния к минимуму. К их числу относятся: правильный выбор шага фотометрирования, определяющего степень дискретизации спектра по энергии; тщательная установка параллельности спектральной линии и Y -привода каретки микрофотометра;

учет неоднородности толщины фотоэмульсии в пределах спектрограмм; выбор хорошего, с точки зрения фотометрирования, участка на бета-спектрограмме; использование метода многократного фотометрирования по разным, неперекрывающимся дорожкам с целью уменьшения и одновременного расчета статистической погрешности измерений оптической плотности; фильтрация результатов многократного фотометрирования; расчет индивидуальных характеристических кривых для каждой спектрограммы.

2. При математической обработке спектров ЭВК наиболее точно задать форму спектральной линии можно, если использовать информацию о реальном распределении интенсивности по контуру линии. Поэтому для обработки спектров ЭВК нами было предложено использовать программу с табличным заданием модельной линии /7,8/. В качестве модели используется либо гистограмма реального распределения одиночной K-, L-линии, либо модель в виде таблицы, созданная на основе любого подходящего аналитического выражения.

Разработанная методика обработки и анализа бета-спектрограмм была применена нами к определению мультипольности некоторых γ -переходов ряда нейтронодефицитных ядер La, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm и Yb. Предварительные данные были опубликованы ранее /10/. На рис. 1-4 представлены обработанные L- и M-группы. Мультипольность переходов определялась из отношений интенсивностей L_1 -, L_2 -, L_3 - и, в ряде случаев, M_1 -, M_2 -, M_3 -линий ЭВК. Анализ проводился преимущественно по спектрам, полученным на приборах СП-1 и СП-4 /1/, которые в рассмотренном диапазоне энергий электронов ($I_4 < E_0 < 300$) кэВ позволяют четко разделять L-группы на отдельные компоненты. В области энергий электронов $E_0 < 100$ кэВ

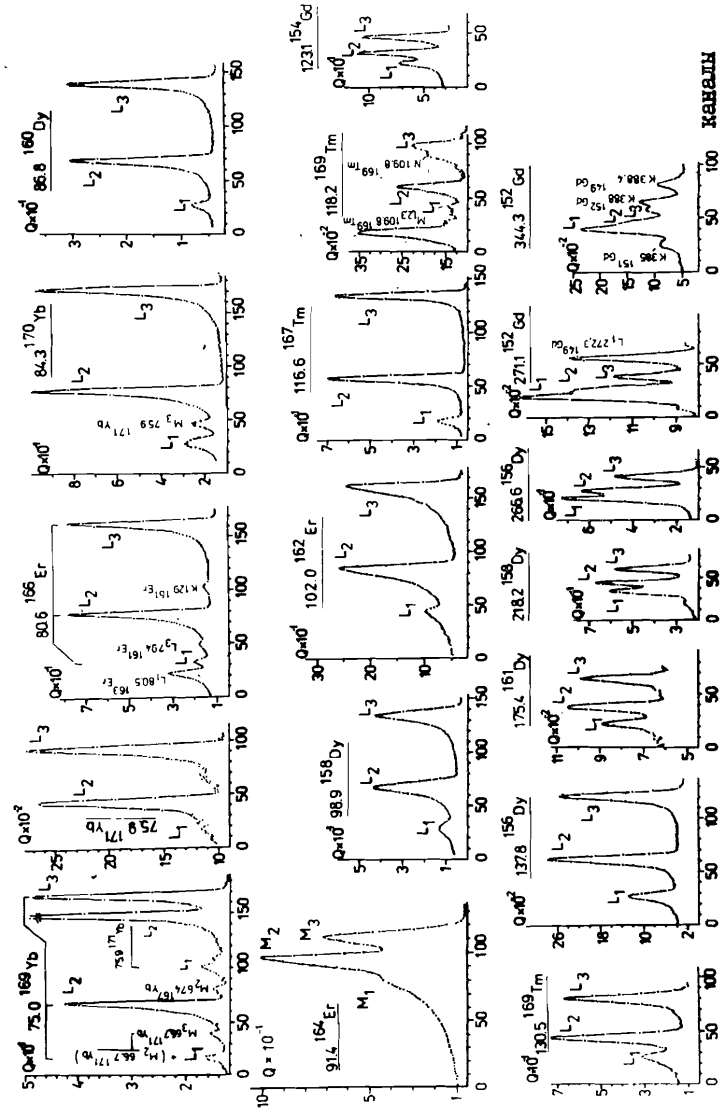


Рис. 1. Фрагменты спектров, содержащие L-, M-группы ЭВК чистых по мультипольности переходов типа E2.

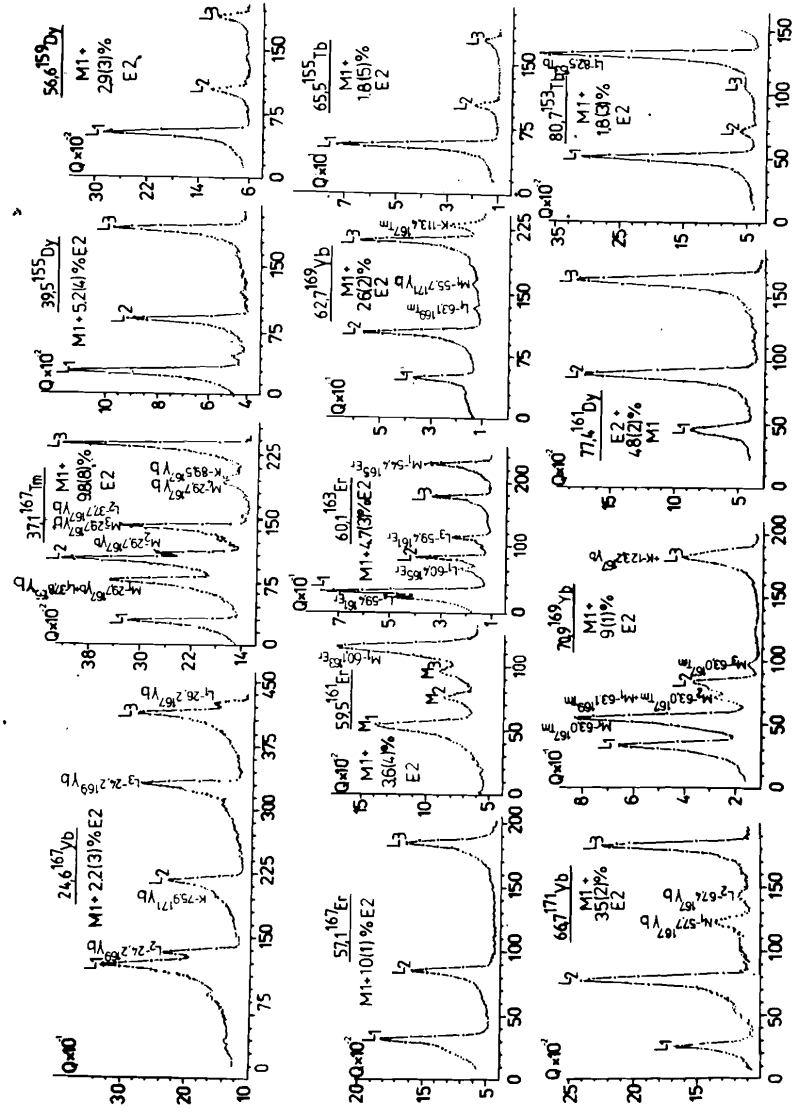
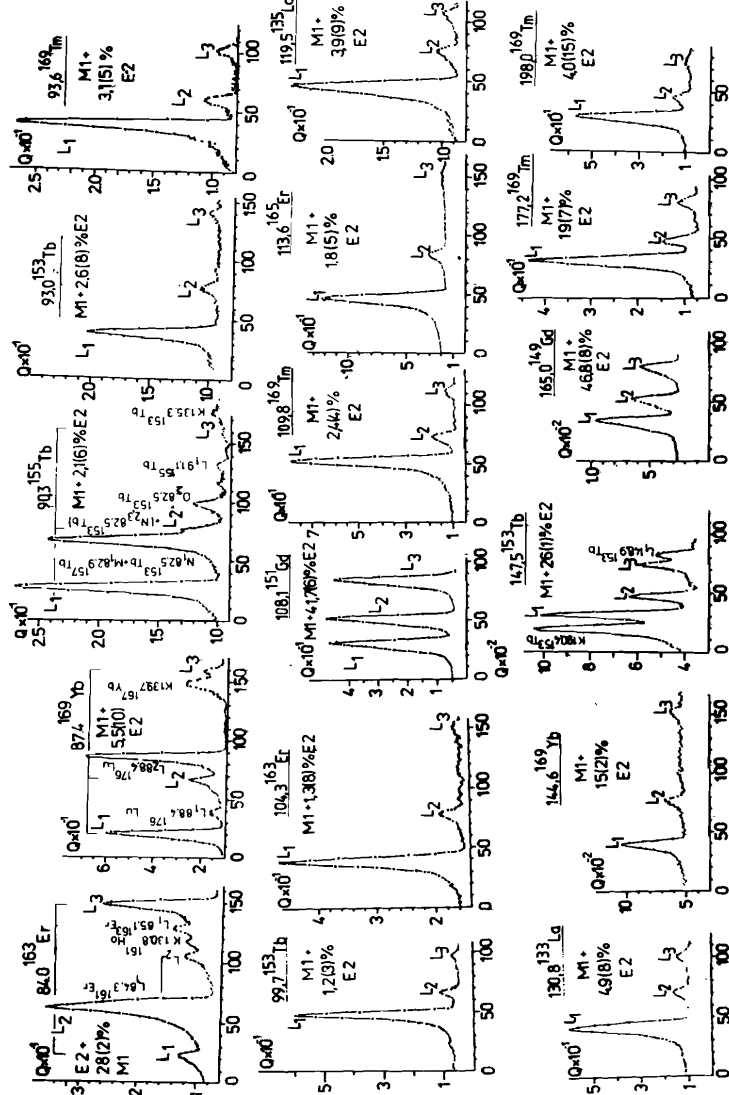


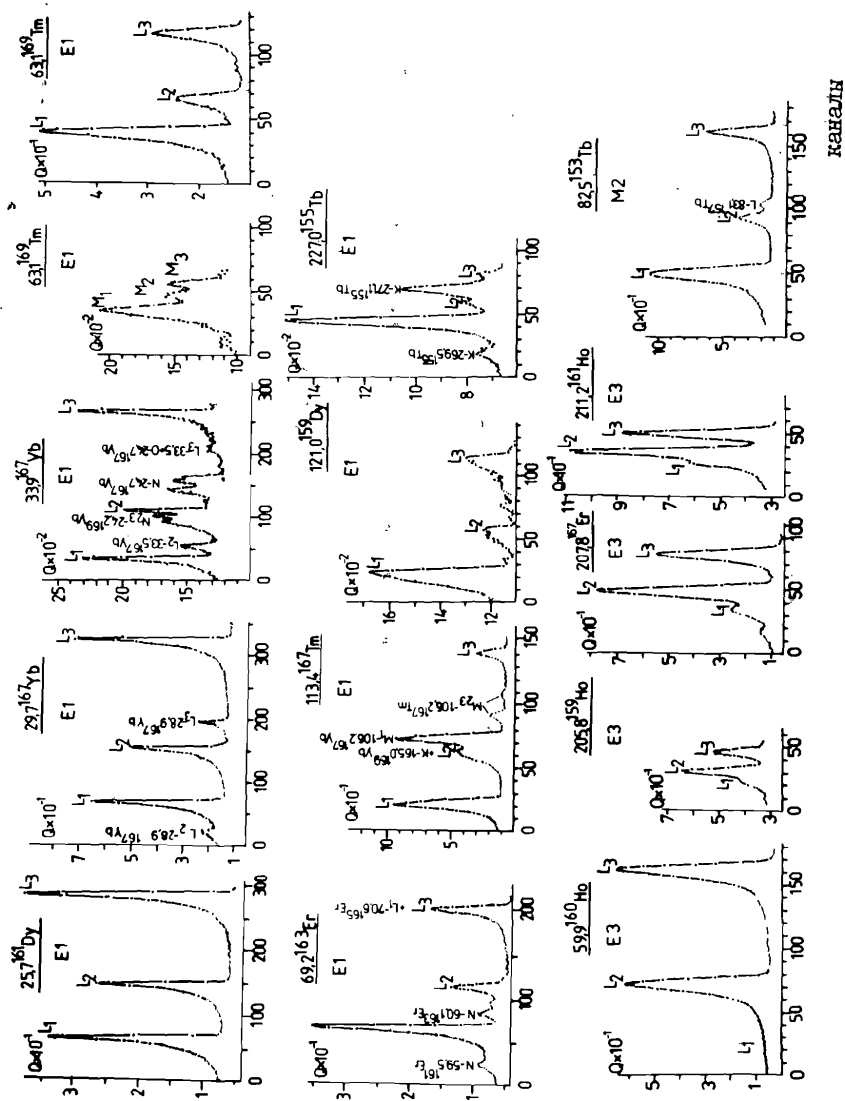
Рис.2. Фрагменты спектров, содержащие L-, M-группы ЭК переходов смешанных M+E2 мультипольностей. Диапазон энергий $24 < E_{\gamma} < 81$ кэВ.

каналы



каналы

Рис.3. Фрагменты спектров, содержащие L-группы ЭК переходов смешанных M+E2 мультипольностей. Диапазон энергий $84 < E_{\gamma} < 200$ кэВ.



каналы

Рис. 4 Фрагменты спектров, содержащие L-, M-группы ЭК переходов E1, E3, M2 мультипольностей. Диапазон энергий $25 < E_{\gamma} < 83$ кэВ.

в большинстве случаев использовалась в качестве модельной одна из линий (L_1 или L_3) обрабатываемой L-группы, что существенно повышает точность определения относительных интенсивностей линий ЭК.

Для уменьшения систематических погрешностей в определении интенсивностей линий, обусловленных неточным знанием характеристических кривых бета-спектрограмм в области больших оптических плотностей и возможными краевыми эффектами проявлений, отбирались L- и M-группы с оптическими плотностями в максимуме $D^m < 2,2$. Снижение точности измерений для линий с сильно различающимися интенсивностями из-за сокращения диапазона оптических плотностей компенсировалось увеличением числа проходов при фотометрировании участка. Растр сканирования участков с подобными линиями состоял из 30 и более неперекрывающихся строк.

Результаты определения мультипольностей γ -переходов представлены в таблице I. Указанные в таблице погрешности в отношениях интенсивностей линий ЭК обусловлены, в основном, статистическими погрешностями измерений электронных плотностей и систематическими погрешностями, которые возникают при проведении фона под слабыми линиями. Величины отмеченных погрешностей сильно зависят от качества бета-спектрограмм и интенсивностей исследуемых спектральных линий на них. При расчетах погрешностей смесей мультипольностей кроме указанных учитывались погрешности в теоретических значениях КЕК (1% для L-оболочек и 3% для M-оболочек /19/). Окончательные значения погрешностей смесей мультипольностей приведены в таблице с учетом систематических погрешностей, которые могут возникать за счет неучтенных примесных линий небольших интенсивностей, а также с учетом систематических погрешностей,

к которым в ряде случаев может приводить используемая методика анализа спектров ЭКК.

Эти погрешности учитывались для тех спектрограмм, для которых невозможно было определить индивидуальную характеристическую кривую и она оценивалась по другим спектрограммам, а также при неудовлетворительном значении χ^2 , при усреднении результатов смесей мультипольностей, полученных из отношений $L_1 : L_2$ и $L_1 : L_3$ по методике, описанной в работе /44/ (с.187, выражение 72).

Наряду со смешанными переходами анализировались также и переходы типа E2, мультипольность которых считается надежно установленной /20/. Часть этих переходов является переходами в полосу основного состояния четно-четного ядра, а остальные - ротационными переходами $\Delta I = 2$ в полосу основного состояния нечетного ядра. Совпадения в пределах погрешностей измерений экспериментальных и расчетных КЭК для чистых по мультипольности переходов типа E2 подтверждают достоверность данных, полученных для смешанных переходов и переходов других мультипольностей.

Для переходов I77,2I и I97,95 кэВ ^{169}Tm расчеты смесей мультипольностей проведены также с учетом эффекта проникновения в КЭК. Результаты представлены в таблице 2.

При распаде ^{169}Yb заселяется уровень 3I6,1 кэВ $7/2^+ 7/2 /404/$ ^{169}Tm , с которого идут K-запрещенные ($\Delta K = 2$) M1+E2-переходы I77,2I и I97,95 кэВ на уровни ротационной полосы основного состояния I/2 /4II/. M1-компоненты этих переходов сильно задержаны. Факторы запрета гамма-излучения относительно одночастичной оценки по Вайскоффу составляют $F_w(M1) = 8,8 \cdot 10^5$ и $7 \cdot 10^5$ соответственно для переходов I77 и I98 кэВ. Поэтому, как следует

из работ М.А.Листенгартена /II,I2/, в КЭК для этих переходов можно ожидать проявление эффекта проникновения. Аномалии в КЭК указанных переходов рассматривались ранее авторами работ /I3-I7/ и анализировались в работах /II,I2/. Выводы о наличии проникновения в КЭК в M1-компонентах этих переходов противоречивы (см. табл.2).

Расчет значений параметров смешивания δ^2 с учетом аномалии в КЭК в M1-компонентах указанных переходов проводился нами с использованием таблиц Хагера и Зельтцера /I8,I9/ по следующей формуле:

$$\delta^2 = \frac{1}{L_k(E2) \cdot q - L_i(E2)} \cdot \left\{ L_i(M1) - q \cdot L_k(M1) + \lambda \cdot [L_i(M1) \cdot V_1(L_i) - q \cdot L_k(M1) \cdot V_1(L_k)] + \lambda^2 \cdot [L_i(M1) \cdot V_2(L_i) - q \cdot L_k(M1) \cdot V_2(L_k)] \right\}$$

Здесь $q = L_i/L_k$ - отношения экспериментальных КЭК на i -й и k -й подболочках; $L_i(M1)$, $L_i(E2)$, $L_k(M1)$ и $L_k(E2)$ - теоретические КЭК на i -й и k -й подболочках для мультипольностей M1 и E2, взятые из таблиц /I9/. Интерполяция КЭК осуществлялась программой, помещенной в этих же таблицах. $V_1(L_i)$, $V_1(L_k)$, $V_2(L_i)$ и $V_2(L_k)$ - электронные коэффициенты для анализа аномалий в КЭК, которые взяты из таблиц /I8/ после соответствующей интерполяции по энергии и заряду. Нами использован графический метод анализа /II,I2/. Значения параметров проникновения λ получены равными $(-6,4 \pm 10,8)$ и $(10,7 \pm 3,3)$ для переходов I77,2I и I98 кэВ соответственно. Погрешность результатов определена графически.

На основании имеющихся литературных данных о временах жизни ($T_{1/2}$) возбужденных состояний ядер ^{153}Tb , ^{155}Tb , ^{155}Dy , ^{159}Dy , ^{161}Dy , ^{161}Er , ^{163}Er , ^{165}Er , ^{167}Er , ^{167}Tm , ^{169}Tm , ^{169}Yb и ^{171}Yb интенсивностях I_γ и полученных значениях мультипольного состава

γ -переходов (табл. I и 2) рассчитаны приведенные вероятности некоторых переходов. Данные представлены в таблице 3. Вероятности рассчитывались по программе, разработанной Б.А.Аликовым и другими. Анализ полученных значений $\nu(\beta\gamma)$ показывает, что они согласуются с имеющимися литературными данными /21-25,33/.

Сравнивая полученные результаты определений мультипольностей γ -переходов с имеющимися литературными данными (некоторые из них указаны в табл. I), можно отметить следующее. Применение бета-спектрографов с постоянным однородным магнитным полем для исследований спектров ЭК в сочетании с созданной в ЛЯП ОИЯИ системой автоматического фотометрирования и методикой обработки и анализа бета-спектрограмм позволяет измерять относительные интенсивности линий ЭК и, следовательно, мультипольности γ -переходов с точностью, не уступающей, а в ряде случаев превосходящей, точности определения смесей мультипольностей, получаемых другими методами. В таблице I таких примеров 21. Следует отметить, что точность определения значений смесей мультипольностей может быть существенно повышена для многих случаев таблицы I, если использовать предложенную в /8/ методику проявления, позволяющую реализовать линейную характеристическую кривую на бета-спектрограммах. При этом значительно упрощается и процедура извлечения данных из спектрограмм. Настоящие результаты получены из фотопластинок, которые проявлялись по методике /1/ и были получены в течение ряда лет различными экспериментаторами.

Авторы выражают благодарность профессору А.А.Абдуразакову, В.В.Кузнецову и А.А.Тангабаеву за полезные обсуждения и помощь на отдельных этапах выполнения работы.

Таблица I. Значения мультипольности γ -переходов в ядрах La, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm и Yb.

Ядро	$E_{\gamma}, \text{кэВ}$	$(L_1:L_2)^{\text{э}}$	$(L_1:L_3)^{\text{э}}$	$(L_1:L_2)^{\text{т}}$	$(L_1:L_3)^{\text{т}}$	Мультипольность
I	2	3	4	5	6	7
^{133}La	130,80	8,2(3)	II,9(6)			MI+4,9(6)%E2 MI+5,4 ⁺¹ _{-0,9} %E2 /35/
^{135}La	119,52	8,7(8)	II,7(18)			MI+4,0(6)%E2 MI+4%E2 /20/
^{149}Gd	164,98	I,77(4)	2,II(6)			MI+46,8(8)%E2 MI+40(I)%E2 /36/
^{151}Gd	108,12	0,99(2)	I,03(2)			MI+4I,7(6)%E2 MI+50%E2 /37/
	287,35	I4,2	-	I4,I		MI
^{152}Gd	271,07	I,34(6)	I,85(8)	I,29	I,79	E2
	344,27	I,9(2)	3,2(2)	I,84	2,8I	E2
^{154}Gd	123,07	0,34(I)	0,36(I)	0,35	0,36	E2
^{153}Tb	80,72	7,3(2)	I3,7(5)			MI+I,8(3)%E2 MI+I,7%E2 /39/
	82,45	6,8(3)	3,8(I)	8,82	4,28	M2+ 0,4%E3 M2 /21/
	92,96	8,2(10)	II,5(2I)			MI+2,6(8)%E2 MI+3,I(5)%E2 /21/
	99,70	9,3(3)	25,0(20)			MI+I,2(3)%E2 MI+0,9(2)%E2 /21/

Таблица I (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7
^{153}Tb	147,50	2,6(I)	3,4(2)			MI+26(I)%E2 MI+18(3)%E2 /21/
^{155}Tb	65,46	6,9(2)	9,0(4)			MI+1,8(5)%E2 MI+2,2(3)%E2 /38/
	90,33	7,2(7)	15,8(29)			MI+2,1(6)%E2 MI+2(1)%E2/38/ EI /20/
	226,92	8,3(I3)	8,7(I7)	8,1	7,3	
^{155}Dy	39,46	1,52(8)	1,35(7)			MI+5,2(4)%E2 MI+4,9(8)%E2 /23/
^{156}Dy	137,79	0,37(2)	0,40(2)	0,36	0,40	E2
	266,55	1,11(5)	1,53(7)	1,09	1,56	E2
^{158}Dy	98,92	0,18(I)	0,19(I)	0,18	0,18	E2
	218,21	0,80(4)	1,05(6)	0,80	1,06	E2
^{159}Dy	56,63	4,2(2)	4,6(2)			MI+2,9(3)%E2 MI+3,8(8)%E2 /23/
	121,01	4,9(4)	4,4(4)	5,06	4,29	EI /20/
^{160}Dy	86,79	0,14(I)	0,13(I)	0,14	0,13	E2
^{161}Dy	25,65	1,43(4)	0,96(3)	1,46	1,01	EI /20/
	77,38	0,38(2)	0,35(I)			E2+48(2)%MI E2+48(2)%MI /40/
	175,39	0,57(3)	0,70(3)	0,55	0,67	E2
^{160}Ho	59,94	0,013(2)	0,012(2)	0,012	0,012	E3 /20/

Таблица I (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7
^{161}Ho	130,85	0,29(3)	0,33(4)	0,30	0,33	E2
^{161}Ho	211,15	0,18(2)	0,25(3)	0,17	0,27	E3 /20/
^{161}Er	59,49	3,3(I)	3,9(2)			MI+3,6(2)%E2 MI+3,3%E2/25/
^{162}Er	102,00	0,15(I)	0,16(I)	0,14	0,15	E2
^{163}Er	60,11	2,9(I)	3,5(2)			MI+4,7(3)%E2 MI+3,4 ^{+0,4} _{-0,1} %E2 /25/
	69,23	3,23(6)	2,60(5)	3,06	2,44	EI+0,2%M2 EI /27/ , EI+0,6%M2/25/
	83,97	0,23(2)	0,23(2)			E2+28(2)%MI E2+13,7(9)%MI /41/
	104,32	8,8(II)				MI+1,3(8)%E2 MI+0,3%E2/42/
^{164}Er	91,38	0,12(I)	0,12(I)	0,12	0,12	E2
^{165}Er	113,6	8,5(6)	25,0(40)			MI+1,8(5)%E2 MI+0,8%E2/42/
^{166}Er	80,57	0,090(5)	0,088(5)	0,066	0,084	E2
^{167}Er	57,10	1,43(4)	1,17(3)			MI+11(1)%E2 MI+13%E2 /27/
	207,80	0,16(I)	0,25(I)	0,15	0,24	E3

Таблица I (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7
^{167}Tm	37,05	0,70(3)	0,6I(2)			MI+9,8(8)E2 MI+II%E2 /27/ EI /20/
	II3,60	4,I(2)	3,7(2)	4,27	3,72	E2
	II6,62	0,I9(2)	0,2I(2)	0,I9	0,20	E2
^{169}Tm	63,I2	2,9(I)	2,2(I)	2,73	2,I8	EI+ 0,I%M2 EI+ 0,I%M2 /28/ MI+3,I(5)E2 MI+3,5(2)E2 /38/
	93,6I	6,6(4)	II,2(II)			MI+2,4(4)E2 MI+2,I(5)E2 /28/
	I09,78	7,9(3)	I8,8(II)			E2
	II8,I9	0,20(2)	0,23(2)	0,20	0,22	E2
	I30,54	0,24(I)	0,27(I)	0,24	0,28	MI+I5,3(8)E2 MI+I5,5(5)E2 /28/
	I77,2I	4,78(I5)	8,6(3)			MI+8,I(9)E2 MI+9,3(8)E2 /28/
	I97,95	7,I(2)	22,8(I5)			
^{167}Yb	24,63	I,42(6)	I,29(6)			MI+2,2(3)E2 MI+2,4(6)E2 /43/
	29,66	I,42(I0)	0,98(6)	I,38	0,99	EI /43/
	33,9I	I,45(6)	0,99(5)	I,56	I,I4	EI /43/

Таблица I (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7
^{169}Yb	62,73	0,62(2)	0,6I(2)			MI+26(2)E2 MI+29(3)E2 /34/
	70,88	2,I3(6)	2,9I(6)			MI+9(I)E2 MI+7,7(6)E2 /34/
	75,04	0,056(3)	0,054(3)	0,057	0,055	E2
	87,38	4,7(2)	6,I(2)			MI+5,5(I0)E2 MI+5,9(4)E2 /34/
	I44,58	3,7(3)	6,0(8)			MI+I5(2)E2 MI+(4I+22)E2 /34/
^{171}Yb	66,73	0,46(3)	0,45(3)			MI+35(2)E2 MI+3I,0(I4)E2 /38/
	75,89	0,067(6)	0,063(6)	0,058	0,057	E2

Таблица 2. Значения параметров смешивания мультитипольностей δ^2 и ядерных параметров проникновения λ для М1+E2 переходов I77,2I и I97,95 кав ^{169}Tm .

E γ , кэВ	S $_{L_1}$ (ΔS_{L_1})	S $_{L_2}$ (ΔS_{L_2})	S $_{L_3}$ (ΔS_{L_3})	λ		F $_w$ (M1)	δ^2 (без прон.) (с прон.)
				настоящая работа	литературные данные		
I77,2I	38640(840)	8075(330)	4480(300)	-6,4 \pm 10,8	\approx I /I3, I4/ \leq 7 /I5/	8,8 \cdot 10 5	0,18(I) 0,24(8)
I97,95	54350(I200)	7680(370)	2380(325)	10,7 \pm 3,3	\approx I /I3, I4, I6/ 6 < λ \leq 9 /I5/ λ = 6 \pm 5 /I7/	7,0 \cdot 10 5	0,09(I) 0,042(II)

18

Таблица 3. Вероятности γ -переходов в ядрах T b , D y , E r , T m и Y b .

E γ , кэВ T $_{I/2}$ (ΔT), нс	E γ , кэВ	2I эк. ннзА		δ^2 δ^2_{L+1}	полн. α	полн. γ	T $_{I/2}$ (δL)	B(δL)	F $_w$	
		начальн. соот.	конечн. соот.							
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
153T b										
80,72 0,49(2) /2I/	80,72	77 404	55 402	M1 0,018(3) E2	4,230(5)	846(13)	2,6I-09 I,45-07	2,89-02 I,13-0I	6,2+0I 4,3-02	
I47,6 0,84(3) /2I/	I47,50	33 4II	55 402	M1 0,35(2) E2	0,723(I)	66(2)	I,95-09 5,58-09	6,3I-03 I,44-0I	2,9+02 3,4-02	
240,4 \leq 0,15 /2I/	92,96	53 4II	33 4II	M1 0,027(8) E2	2,810(5)	34, I(6)	\leq 6,77-10	\geq 7,29-02	2,5+0I	
	I59,85		77 404	M1 0,10(5) E2	0,589(4)	I,35(6)	\leq 2,5I-08 \leq 7,62-09	\geq 3,24-0I \geq I,27-03	I,5-02 I,4+03	
	240,56		55 402	M1 0,70(35) E2	0,166(8)	3,88(5)	\leq 7,62-08 \leq 3,00-09	\geq 7,08-03 \geq 9,49-04	6,8-0I I,9+03	
							\leq 4,3I-09	\geq I,62-02	3,0-0I	

19

Таблица 3 (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
159 ^{Dy}									
56,6 0,2I(4) /23/	56,63	53 52I	33 52I	MI 0,030(3) E2	13,30(4)	205(2)	3,08-09 I,03-07	7,07-02 9,37-0I	2,5+0I 5,4-03
161 ^{Dy}									
103, I 0,64(3) /24/	59,23 77,38	73 523	75 642 55 523	EI MI 0,92(7) E2	I,23 6,19(I)	35(3) 352(25)	2,13-08 I,29-08	9,94-07 6,60-03	3,3+03 2,7+02
	103,07		55 642	EI 0,286	0,286	I29	I,4I-08 3,30-09	I,44+00 I,22-06	3,6-03 2,7+03
161 ^{Er}									
59,50 ≤I,4-I0 /25/	59,49	53 52I	33 52I	MI 0,037(2) E2	13,60(4)	7900	≤2,13-09 ≤5,74-08	8,84-02 I,3I+00	2,0+0I 3,9-03

Таблица 3 (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
155 ^{Tb}									
262,8 0,22(2) /2I/	99,70	99 5I4	III 505	MI 0,012(3) E2	2,290(3)	3I2(2)	7,32-I0 6,1-08	5,47-02 9,39-02	3,3+0I 5,2-02
155 ^{Tb}									
65,5 0,25(3) /22/	65,46	53 4II	33 4II	MI 0,018(5) E2	7,82	23,6	2,25-09 I,25-07	6,29-02 3,75-0I	2,9+0I I,3-02
I56,00 ≤0,2 /22/	90,33 I55,77	73 4II	33 4II	MI 0,022(6) E2	3,05 0,539	6,26 0,47	≤8,89-I0 ≤4,04-08 ≤4,44-09	6,04-02 2,32-0I I,38-0I	3,0+0I 2,1-02 3,6-02
155 ^{Dy}									
39,6 3,4(I) /23/	39,46	53 52I	33 52I	MI 0,052(4) E2	12,9(5)	368(2I)	4,99-08 9,08-07	I,29-02 6,48-0I	I,4+02 7,6-03

Таблица 3 (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
163 Кр									
69,23 8,3(8) /26/	69,23	55 642	55 523	К1 0,002 М1	1,08	130	1,83-08 9,17-06	7,23-07 3,51-01	4,7+03 1,4-02
164,0 ≤0,09 /25/	60,11	53 521	33 521	М1 0,049(3) Е2	13,3	III	≤1,7-09 ≤3,46-08	≥1,08-01 ≥2,07+00	1,7+01 2,5-03
	72,88 80,46		75 642 73 523	К1 М1	0,75	1,4	≤1,59-08 ≤4,49-09	≥7,16-07 ≥1,69-02	4,7+03 1,1+02
	164,42		55 523	0,0026(13) Е2 М1	5,53	18,3	≤1,73-06 ≤2,63-09	≥9,67-03 ≥3,39-03	5,4-01 5,3+02
83,96 0,92(8) /26/	14,72 83,97	75 523	55 642 55 523	0,019(9) Е2	0,713	8,3	≤1,41-07	≥3,32-03	1,6+00
				К1 М1 0,39(4) Е2	11,5 5,16(1)	4,3(3) 24,8(5)	7,86-08 9,22-09	1,75-05 7,25-03	1,9+02 2,5+02
							2,36-08	5,7-01	9,2-03

Таблица 3 (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
165 Кр									
104,3 0,52(5) /26/	20,34 35,05 104,32	33 521	55 523 55 642 55 523	Е2 К1 М1 0,013(8) Е2	4,45+03 1,05 2,610(6)	445 25(1) 7003(170)	3,89-05 3,2-07 2,03-09	4,16-01 3,15-07 1,72-02	1,3-02 1,1+04 1,0+02
356,5 40,14 /25/	59,13 60,40 113,60	31 521	11 521 53 521 33 523	М1 0,61(31) Е2 М1 0,0019(9) Е2 М1 0,018(5) Е2	17,7(13) 12,7(1) 2,04(1)	185(19) 1648(34) 806(13)	≥7,45-08 4,22-07 ≥3,81-09	≥2,57-03 ≥6,41-01 ≥4,72-02	7,0+02 8,3-03 3,8+01
				Е2 М1 0,0019(9) Е2 М1 0,018(5) Е2	8,64-02 1,73-02 6,85(50)-02	110,5(2) 13,20(7) 500(3)	≥2,00-06 ≥1,76-09 ≥9,76-08	≥3,5-02 ≥1,54-02 ≥3,05-02	1,5-01 1,2+02 1,8-01
	279,26 309,40 356,52		75 523 55 642 55 523	Е2 К1 М1 0,70(35) Е2			≥4,50-09 ≤3,52-08 ≥1,66-09	≥7,37-03 ≥4,22-09 ≥5,28-04	7,3-01 7,9+05 3,4+03
							2,38-09	≥4,10-03	1,3+00

Таблица 3 (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
167 _{Бр}									
264,9 I,47 /27/	57,10	3I 52I	II 52I	MI 0,12(I) E2	4,89(20)	II5(5)	8,6I-09 8,73-08	2,2I-02 I,06+00	8,1+0I 5,1-03
167 _{Тм}									
I79,5 II0(I0) /27/	37,05	77 404	7I 4II	MI 0,1I(I) E2	32,7(I5)	IO,4(20)	5,27-04 4,84-03 I,60-05	I,48-06 I,67-04 9,95-06	I,2+06 3,3+0I I,8+05
	62,90		5I 4II	0,00050(4) E2	I2,3000(3)	I22,8(20)	3,90-02 6,14-04	I,79-06 6,64-07	3,0+03 8,2+03
	I69,04		3I 4II	E2	0,463(0)	0,35I(9)			
169 _{Тм}									
I18,2 0,062(26) /28/	I09,78	5I 4II	3I 4II	MI 0,025(4) E2	2,45	45,8(I7)	2,38-10	I,26-0I	I,4+0I
	I18,19		II 4II	E2	I,66	4,87(I4)	9,5I-09 2,18-09	3,7I-0I I,12+00	I,5-02 4,9-03

Таблица 3 (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3I6,14 660(3) /28/	I77,2I I97,95	77 404	7I 4II 5I 4II	MI 0,24(8) E2 MI 0,042(II) E2	0,587(I3)	99(I) I46(I)	3,62-06 I,5I-05 I,90-06 4,52-05	I,97-06 2,14-05 2,69-06 4,10-06	9,9+05 2,6+02 6,7+05 I,3+03
	307,73 3I6,2		3I 4II II 4II	E2 M3	0,066 I,78	3I,2(I8) 0,0003	6,22-06 I,82+00	3,28-06 I,89-02	I,7+03 8,1+00
379,3 52,6(90) /28/	63,12	77 523	77 404	EI 0,00I M2		II3,6(29)	I,23-07 I,23-07	I,43-07 4,17+00	4,9+04 I,2-0I
	240,3I 26I,07 370,93 379,20		7I 4II 5I 4II 3I 4II II 4II	EI EI M2 E3		0,4I(9) 4,96(I9) 0,003I(2) 0,0009(2)	3,39-05 2,80-06 4,52-03 I,53-02	9,35-12 8,82-1I I,6I-05 7,02-05	7,5+08 7,9+07 3,1+04 2,4+0I
473,00 0,14(7) /28/	93,6I I56,70 333,90	97 523	77 523 77 404 7I 4II	MI E2 EI EI	0,164 0,0I5	0,027 0,005	7,07-10 2,2I-08 2,03-07 I,0I-06	6,83-02 3,55-0I 5,64-09 I,17-10	2,6+0I I,6-02 I,2+06 6,0+07

Таблица 3 (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
169,76									
71,00 40,028 /34/	70,88	97 633	77 633	М1 0,10(1) Е2	9,8	78,5	43,32-10 43,36-09	43,35-01 49,37+00	5,4+00 5,9-04
87,00 1,43(8) /34/	62,73	31 521	11 521	М1 0,35(4) Е2	15,70(9)	46,6	3,22-08 9,21-08	4,97-03 6,29-01	3,6+02 8,8-03
279,00 0,038(14) /34/	14,22	75 512	91 521	М1 0,005(3) Е2	323(93)	0,42	2,00-06	6,88-03	2,6+02
34,79	87,38		71 521	М1 0,017(10) Е2	18,6(34)	0,12	4,00-04 4,39-07	2,42-01 2,14-03	2,3-02 8,4+02
			55 512	М1 0,058(10) Е2	5,2	6,2	2,58-05 2,61-10	4,28-02 2,28-01	1,3-01 7,9+00
	179,00 207,73 278,6		51 521 97 633 77 633	М1 Е1 Е1	0,672 0,0506 0,0241	0,14 0,15 0,05	4,50-09 1,86-07 1,41-09 4,61-09	2,46+00 3,71-05 3,49-07 4,42-08	2,2-03 4,9+04 9,8+03 7,7+04

Таблица 3 (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
171,76									
66,7 0,81(17) /30/	66,73	31 521	11 521	М1 0,54(5) Е2	13,20(5)	73,3	1,77-08 3,29-08	7,51-03 1,29+00	2,4+02 4,3-03

Литература

1. Абдуразаков А.А., Громов К.Я., Умаров Г.Я. Бета-спектрографы с постоянными магнитами. - ФАН, Ташкент, 1970.
2. Кононенко Г.А. и др. - В кн.: Тезисы докладов XXII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. - Наука, Л., 1977, с. 367.
3. Исламов Т.А., Кононенко Г.А. и др. ОИЯИ, Р10-12794, Дубна, 1979.
4. Абдуразаков А.А. и др. В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия. - Энергоатомиздат, Л., 1984, вып.13, с. 110.
5. Кононенко Г.А. и др. - В сб.: Прикладная ядерная спектроскопия. - Энергоатомиздат, Л., 1984, вып. 13, с. 203.
6. Кононенко Г.А. и др. ОИЯИ, Р6-85-125, Дубна, 1985.
7. Злоказов В.Б. и др. ОИЯИ, Р6-85-606, Дубна, 1985.
8. Кононенко Г.А. и др. ОИЯИ, Р6-85-717, Дубна, 1985.
9. Кононенко Г.А. и др. ОИЯИ, Р6-86-536, Дубна, 1986.
10. Громов К.Я. и др. - В кн.: Тезисы докладов XXXII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. - Наука, Л., 1986, с. 115.
11. Банд И.М., Листенгартен М.А., Ферески А.П. Аномалии в коэффициентах внутренней конверсии гамма-лучей. - Наука, Л., 1976.
12. Листенгартен М.А. Аномальная внутренняя конверсия в электромагнитных переходах атомных ядер. - В кн.: Современные методы ядерной спектроскопии. - Наука, Л., 1986, с. 142-204.
13. Grabovski Z. et al. - Z.Phys., 1962, Bd.169, s- 303-314.
14. El-Mezz M., Bashandy E., - Atomkernenergie, 1973, Bd. 22, s. 59.
15. Agnihorty A.P. et al. - Phys.Rev., 1972, vol.C6, p.321-330.
16. Мецкваришвили Р.Я. и др. - В кн.: Тезисы докладов XXU совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. - Наука, Л., 1975, с.166.
17. Reddy B.S. et al. - Ind.J.Phys., 1982, vol. A56, p. 283-286.
18. Hager R.S., Seltzer E.C. - Nucl.Data Tables, 1969, vol. A6, p. 1-127.
19. Hager R.S., Seltzer E.C. - Nucl.Data, 1968, vol.A4, p.1-135.
20. Lederer C.M., Shirley V.S. Table of Isotopes. -New York, 1978, p. 840-882.
21. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, Р6-10043, Дубна, 1976.
22. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, Р6-10293, Дубна, 1976.
23. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, Р6-12415, Дубна, 1979.
24. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, Р6-11642, Дубна, 1978.
25. Абдуразаков А.А. и др. ОИЯИ, Р6-80-460, Дубна, 1980.
26. Dairiki J.M. et al. Nuclear Data Sheets for A=163. - Nucl. Data Sheets, vol. 29, No 4, 1980, p. 653-731.
27. Harmatz B. Nuclear Data Sheets for A=167. - Nucl.Data Sheets, vol. 17, No 1, 1976, p. 143-192.
28. Shirley V.S. Nuclear Data Sheets for A=169. - Nucl.Data Sheets, vol. 36, No 4, 1982, p. 443-558.
29. Вылов Ц. и др. - В кн.: Спектры излучений радиоактивных нуклидов. - ФАН, Ташкент, 1980, с.174.
30. Horen D.J. and Harmatz B. Nucl.Data Sheets for A=171. - Nucl. Data Sheets, vol. 11, No 4, 1979, p. 549-602.
31. Dairiki J.M., Brawn E., Shirley V.S. Nucl.Data Sheets for A=163. - Nucl.Data Sheets, vol. 29, No 4, 1980, p.653-731.

32. Аляков Б.А. и др. ОИЯИ, Р6-11642, Дубна, 1978.
33. Andrejtscheff W.-Atom Data Nucl.Data Tables, vol. 16, 1975, p. 515.
34. Балалаев В.А., Желепов Б.С., Тер-Нерсисянц В.Е. Изобарные ядра с массовым числом $A = 169$. - Наука, Л., 1976, с.223.
35. Громов К.Я. и др.-Изв. АН СССР, сер.физ., 1984, т.48, с.1825.
36. Szucs J.A. et al.-Nucl.Data Sheets, vol. 46, No 1,1985,p.1-185.
37. Бадалов Н.Б. и др. ОИЯИ, Р6-81-345, Дубна, 1981.
38. Krane K.S.-Atomic Data and Nucl.Data Tables, 1976, Vol. 18, No 2, p. 137-203.
39. Krane K.S.-Atomic Data and Nucl.Data Tables, vol. 25, No 1, 1980, p. 29-89.
40. Helmer R.G.-Nucl.Data Sheets. Vol. 43, No 1, 1984, p. 1-125.
41. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, 6-81-551, Дубна, 1981.
42. Абдуразаков А.А. и др. ОИЯИ, Р6-80-459, Дубна, 1980.
43. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, Р6-9369, Дубна, 1975.
44. Желепов Б.С. - В кн.: Современные методы ядерной спектроскопии. - Наука, Л., 1984, с.164-208.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 апреля 1987 года

Баратова М.А. и др. Р6-87-219
Определение мультипольности γ -переходов в ядрах
La, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb на основе усовершенствованной
методики обработки бета-спектрограмм

На основе усовершенствованной методики обработки бета-спектрограмм проведены исследования спектров электронов внутренней конверсии, получаемых на магнитных бета-спектрографах. Целью проведенных исследований явилось определение мультипольностей некоторых γ -переходов в ядрах La, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb. Всего рассмотрен 61 переход. Мультипольности двух переходов 177 и 198 кэВ ^{189}Tm определены с учетом эффекта проникновения в КВК. Наряду с δ^2 для этих переходов определены также ядерные параметры проникновения λ . Для переходов смешанной мультипольности рассчитаны также приведенные вероятности и факторы запретов по Вайскопфу.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Baratova M.A. et al. Р6-87-219
Determination of Multipolities of γ -Transitions
in La, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb Nuclei on the Basis
of Modified Techniques of Beta-Spectrogram Processing

Spectra of internal conversion electrons from magnetic spectrographs on the basis of a modified procedure of processing the beta-spectrograms were studied. Multipolities of some γ -transitions in La, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb nuclei were determined. 61 transitions have been considered. Multipolities of two transitions of 177 and 198 keV Tm transitions have been determined taking into account the penetration of atomic electrons into nuclei. Along with δ^2 for these transitions nuclear parameters of λ penetration have been also determined. For mixed multiplicity transitions the reduced probabilities and hindrance factors by Weisskopf have been also calculated.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.