

КОРРЕЛЯЦИИ НАПРАВЛЕНИЙ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ^{153}Gd GAMMA-GAMMA DIRECTIONAL CORRELATIONS IN ^{153}Gd

Б. А. Аликов*, М. Будзински, Т. Бэдикэ**, Я. Ваврищук, В. Жук***, Р. Ион-Михай, В. В. Кузнецов, Г.И. Лизурей, В.А. Морозов, Т. М. Муминов*, М. И. Фоминых, И. Холбаев*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна****

(Поступила в редакцию 27 февраля 1974 г.)

The gamma-gamma angular correlations in the decay $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$ have been studied employing Ge(Li)-Ge(Li) detectors. The A_2 and A_4 coefficients have been determined for the following cascades: 82.9 — 87.6, 82.9 — 19 — 109.7, 82.9 — 129.1, 102.2 — 68.2, 139.7 — 109.7, 174.3 — 87.6, 174.3 — 19 — 109.7, 102.2 — 109.7, 186.9 — 129.1, 193.7 — 109.7, 206.7 — 109.7, 332.5 — 109.7, 835.4 — 109.7, 845.6 — 109.7 and 991.7 — 109.7 keV. The mixing ratios of gamma-transitions 68.2, 87.6, 109.7 and 129.1 keV and the spins for 41.5(5/2), 109.7(5/2), 129.1(3/2), 211.9(3/2), 249.5(5/2), 303.5(5/2), 316.1(3/2), 442.5(5/2), 945.1(3/2), 955.3(5/2) and 1101.5(3/2) keV states have been deduced. The possible spin values of other states have been also analysed.

1. Введение

Проведенные исследования распада $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$ в работах [1—4] не дают возможности однозначного установления значений спинов для большинства возбужденных состояний ^{153}Gd .

Наличие интенсивных каскадов с E1 переходами при распаде ^{153}Tb создает благоприятные условия для определения спинов многих возбужденных состояний ^{153}Gd , методом угловых гамма-гамма корреляций.

В настоящей работе изучались корреляции направлений γ -излучений каскадов: 82,9—87,6 кэВ, 82,9 — (19) — 109,7 кэВ, 82,9 — 129,1 кэВ, 102,2 — 68,2 кэВ, 102,2 — 109,7 кэВ, 139,7 — 109,7 кэВ, 174,3 — 87,6 кэВ, 174,3 — (19) — 109,7

* Самаркандский Госуниверситет им. А. Навои.

** Институт Атомной Физики, Букарест, СРР.

*** Университет М. К.-Складовской, Люблин, ПНР.

**** Address: Joint Institute for Nuclear Research, Head Post Office, P.O. Box 79, Moscow, USSR.

кэВ, 186,9 — 129,1 кэВ, 193,7 — 109,7 кэВ, 206,3 — 109,7 кэВ, 332,5 — 109,7 кэВ, 835,4 — 109,7 кэВ, 845,6 — 109,7 кэВ и 991,7 — 109,7 кэВ.

Результаты измерений позволили однозначно приписать значения спинов уровням: 41,5 (5/2) кэВ, 109,7 (5/2) кэВ, 129,1 (3/2) кэВ, 211,9 (3/2) кэВ, 249,5 (5/2) кэВ, 303,5 (5/2) кэВ, 316,1 (3/2) кэВ, 442,5 (5/2) кэВ, 945,1 (3/2) кэВ, 955,3 (5/2) кэВ и 1101,5 (3/2) кэВ и определить коэффициенты смеси для γ -переходов 68,2 кэВ, 87,6 кэВ, 109,7 кэВ и 129,1 кэВ.

2. Получение радиоактивных источников ^{153}Tb

Радиоактивный изотоп ^{153}Tb ($T_{1/2} = 2,3$ дня) образовывался в реакции глубокого расщепления ядер тантала протонами с энергией 660 МэВ на внутреннем пучке синхротрона ЛЯП ОИЯИ. Из облученной мишени хроматографическим методом выделялся элемент тербий, который затем разделялся по массам на электромагнитном масс-сепараторе отдела ЯСиРХ ЛЯП ОИЯИ. Алюминиевая фольга с внедренными ионами ^{153}Tb растворялась в HCl , а затем добавлялась дистиллированная вода. Радиоактивный раствор помещался с полиэтиленовую ампулу размерами $\varnothing 3 \times 10$ мм.

3. Аппаратура

Измерения проводились на двух независимых автоматизированных корреляционных установках.

Первая установка была собрана на базе спектрометра γ - γ -совпадений, сопряженного с ЭВМ Минск-2, работающего в двумерном режиме с использованием цифровых окон [5]. Для регистрации γ -квантов применялись два Ge(Li) -детектора с чувствительными объемами 40 см³ и 35 см³ с энергетическими разрешениями 3 кэВ и 2,5 кэВ (на $E_\gamma = 1173$ кэВ, ^{60}Co), соответственно. Управление корреляционного стола, на котором устанавливались ампула с радиоактивным источником и оба детектора, осуществлялось автоматически. Регистрация совпадений осуществлялась циклическим образом при углах 90°, 135° и 180° с десятиминутными экспозициями. Источник находился на расстоянии 10 см от обоих детекторов.

Система цифровых окон, при разбиении памяти ЭВМ на четыре части, позволяла одновременно регистрировать шесть спектров совпадений (по 1024 канала) γ -лучей с γ -лучами, отобранными шестью энергетическими окнами а канале подвижного детектора. Временное разрешение быстрого тракта было $2\tau \approx 60$ нсек.

В обоих энергетических трактах применялась стабилизация положения пика.

Вторая установка, применялась нами только для изучения углового распределения высокоэнергетических каскадов. Регистрация γ -излучения производилась Ge(Li) -детектором с чувствительным объемом 45 см³ и с энергетическим разрешением 3,5 кэВ на $E_\gamma = 1173$ кэВ и двумя сцинтилляционными детекторами с кристаллами NaI(Tl) размерами $\varnothing 40 \times 40$ мм закрепленными на подвижной

платформе корреляционного стола (угол между осями сцинтилляционных детекторов 90°). Энергетические окна выбирались с помощью дифференциальных дискриминаторов в каналах сцинтилляционных детекторов. Спектры совпадений для каждого окна, определенного детектора и соответствующего угла регистрировались в отдельном участке автоматической разделяемой памяти 1024-канального анализатора. Временное разрешение быстрых трактов составляло $2\tau \approx 50$ нсек. Источник устанавливался на расстоянии 6 см от Ge(Li)-детектора и 8 см от сцинтилляционных детекторов.

В обеих установках центровка источника была не хуже 1%.

4. Результаты измерений

Результаты исследований распада $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$ [2—4] обращают внимание на большую плотность возбужденных состояний ^{153}Gd и очень сложный спектр γ -излучения ^{153}Tb . Количественные расчеты на основе спектров γ - γ -совпадений в ряде случаев сильно затруднены, даже при использовании в измерениях полу-

ТАБЛИЦА I

Значения коэффициентов A_2 и A_4 функции угловых гамма-гамма корреляций в ядре ^{153}Gd

Каскад (кэВ)	Наст. работа		Польок и др. [9]
	A_2	A_4	A_2
82,9 — 87,6	$-0,028 \pm 0,009$	$-0,006 \pm 0,017$	$+0,064 \pm 0,040$
82,9 — 19 — 109,7	$+0,037 \pm 0,006$	$+0,007 \pm 0,016$	$+0,073 \pm 0,071$
82,9 — 129,1	$+0,158 \pm 0,029$	$-0,024 \pm 0,045$	$+1,290 \pm 0,065$
102,2 — 68,2	$-0,208 \pm 0,080$		
102,2 — 109,7	$+0,177 \pm 0,10$		$+0,160 \pm 0,021$
139,7 — 109,7	$-0,162 \pm 0,073$	$+0,040 \pm 0,125$	
174,3 — 87,6	$+0,023 \pm 0,031$	$+0,066 \pm 0,054$	$+0,194 \pm 0,085$
174,3 — 19 — 109,7	$-0,013 \pm 0,040$	$-0,008 \pm 0,065$	$+0,140 \pm 0,160$
186,9 — 129,1	$+0,170 \pm 0,095$	$-0,009 \pm 0,150$	
193,7 — 109,7	$-0,192 \pm 0,037$	$+0,003 \pm 0,069$	$-0,189 \pm 0,140$
206,3 — 109,7	$+0,163 \pm 0,059$	$0,067 \pm 0,103$	
332,5 — 109,7	0		
835,4 — 109,7	$+0,167 \pm 0,028$		$+0,090 \pm 0,050$
845,6 — 109,7	$-0,172 \pm 0,041$		
991,7 — 109,7	$+0,150 \pm 0,022$		$+0,205 \pm 0,056$

проводниковых детекторов. Поэтому нами измерялись угловые распределения только четко выделяемых каскадов, содержащих переходы: 87,6 кэВ, 109,7 кэВ и 129,1 кэВ.

Для первых двенадцати каскадов, перечисленных в табл. I, измерения проводились на установке с Ge(Li)-детекторами. Одновременно регистрировались спектры совпадений (в диапазоне энергий $20 \div 630$ кэВ) с γ -лучами (82, 9+87,6) кэВ, 102,2 кэВ, 109,7 кэВ и 129,1 кэВ, и с комптоновским распределением за пи-

ками полного поглощения γ -лучей 109,7 кэВ и 129,1 кэВ. Участки этих спектров, для угла $\theta = 135^\circ$, представлены на рис. 1.

В случае высокоэнергетических каскадов 835,4 — 109,7 кэВ, 845,6 — 109,7 кэВ и 991,7 — 109,7 кэВ измерялась только анизотропия при углах $\theta = 90^\circ$ и 180° (с помощью установки с NaI(Tl) и Ge(Li)-детекторами). Это достаточно, так как переходы 835,4 кэВ, 845,6 кэВ и 991,7 кэВ типа E1 [3, 4] и функция угловой

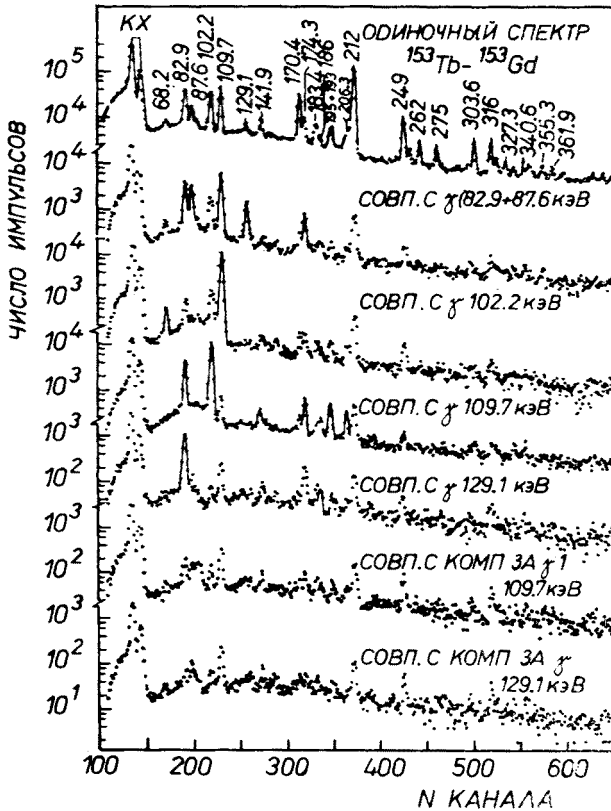


Рис. 1. Спектры совпадения гамма-лучей в ^{153}Gd измеренные в одной из серий для угла $\theta = 135^\circ$ между осями детекторов

корреляции этих каскадов содержит только два члена: $W(\theta) = 1 + A_2 P_2(\cos \theta)$. В этих измерениях энергетические окна были установлены на $E_\gamma = 109,7$ кэВ, а спектры совпадений регистрировались в диапазоне энергий $800 \div 1050$ кэВ.

При определении значений коэффициентов функции угловой корреляции, изучаемых нами каскадов, учитывались вклады: совпадений от „чужих“ каскадов случайные совпадения, поправки на центровку источника и на эффективность регистрации и телесные углы детекторов.

Для каскадов, содержащих промежуточный уровень 129,1 кэВ с временем жизни $T_{1/2} = 2,63 \pm 0,13$ нсек [6, 7], вводилась дополнительная поправка $G_2 =$

$= 0,932 \pm 0,020$ учитывающая ослабление угловой корреляции. Значение этой поправки было оценено по релаксационному параметру $\lambda = (1,88 \pm 0,53)10^7 \text{ сек}^{-1}$ ядра ^{155}Gd в водном растворе GdCl_3 [8].

На угловое распределение γ -излучений каскадов 102,2 — 109,7 кэв и 102,2 — 68,2 кэв измераемым в диапазоне углов 90° — 180° , даже с применением конусообразных коллиматоров, явно влияло обратное рассеяние от интенсивных γ -квантов 212 кэв ($E_{\gamma c}(180^\circ) \simeq 98 \text{ кэв}$) и 170 кэв ($E_{\gamma c}(180^\circ) \simeq 68 \text{ кэв}$). Поэтому для этих каскадов коэффициенты A_2 определялись на основе значения их асимметрии. Это не меняет результатов, а только увеличивает их ошибку, так как переход 102,2 кэв типа E1 [1—4].

Полученные значения коэффициентов A_2 и A_4 изучаемых каскадов приведены в табл. I. Там же, для сравнения, приведены результаты измерений угловых корреляций в ^{153}Gd Польока и др. [9]. Как видно из этой таблицы, наши измерения выполнены существенно точнее и включают большее число каскадов. В случае каскадов 82,9 — 87,6 кэв, 82,9 — 129,1 кэв и 174,3 — 87,6 кэв результаты обеих работ явно различаются. По-видимому, это является следствием неточного учета в работе [9] вклада от конкурирующих каскадов и от обратного рассеяния. Более конкретно указать причину этого расхождения трудно, так как в работе [9] нет сведений о технике измерений.

5. Анализ результатов измерений

А. Спины и четности возбужденных состояний ^{153}Gd

При распаде основного состояния ^{153}Gd с $I^\pi = 5/2^+$ [10] можно ожидать заселения в ядре ^{153}Gd состояний со спинами от $1/2$ до $9/2$. Результаты работ [2, 3], в которых подробно исследовался распад $^{153}\text{Tb} \rightarrow ^{153}\text{Gd}$ указывают, что для большинства наблюдаемых уровней ^{153}Gd ожидаемые значения спинов $3/2$ или $5/2$ и только для нескольких уровней допускаются значения $1/2$ и $7/2$.

Учитывая то, что уровни 41,5 кэв и 93,3 кэв принадлежат вращательной полосе основного состояния $3/2^-$ [521] Туурнала и др. [3], на основе измеренных коэффициентов внутренней конверсии γ -переходов и значений $\log ft$ в ^{153}Gd , предлагают определенные значения спинов для уровней:

183,4(5/2⁺), 211,9(3/2⁺), 303,5(5/2⁺), 442,2(5/2⁺), 548,8(5/2⁻) 783,0(5/2⁺) и 945,1(3/2⁺) кэв. Однако, если учесть более подробные данные об электронах внутренней конверсии Александрова и др. [4], то для уровней 442,2 кэв, 548,8 кэв, 783,0 кэв и 945,1 кэв допускаются также другие значения спина, а уровню 442,5 кэв можно даже приписать противоположную четность.

В работе Польока и др. [9] по измерениям угловых гамма-гамма корреляций, определены значения спинов уровней:

129,1(3/2), 212(3/2), 303,5(5/2), 945,1(3/2) и 1101,5(3/2) кэв.

При анализе результатов наших измерений принимались:

— схема возбужденных уровней ^{153}Gd предложенная Туурнала и др. [3]

Если рассматривать только переходы, связывающие уровни 129,1 кэВ и 109,7 кэВ с основным состоянием ^{153}Gd , то для этих уровней возможны значения спинов $5/2^-$, $3/2^-$ и $1/2^-$. Анизотропное угловое распределение большинства измеренных нами каскадов, полностью исключает спин $1/2$.

В табл. II приведены теоретические значения коэффициентов A_2 каскадов $I_i(\text{DD})/(\text{D} + \leq 0,9\% \text{ Q})$ $3/2$ для спинов промежуточного уровня $3/2$ и $5/2$, в зависимости от значений спинов начальных состояний. Из этой таблицы видно, что положительные значения коэффициентов A_2 каскадов 82,9 — 129,1 кэВ, 102,2 — 109,7 кэВ, 186,9 — 129,1 кэВ, 206,3 — 109,7 кэВ, 835,4 — 109,7 кэВ, 991,7 — 109,7 кэВ (см. табл. I) дают возможность приписать начальным уровням этих каскадов: 211,9 кэВ, 316,1 кэВ, 945,1 кэВ и 1101,5 кэВ однозначно значение $I^\pi = 3/2^+$. Отрицательные значения коэффициентов A_2 каскадов 139,7 — 109,7 кэВ, 193,7 — 109,7 кэВ, 332,5 — 109,7 кэВ и 845,6 — 109,7 кэВ указывают на одинаковую последовательность спинов уровней связанных этими каскадами, а именно $5/2 - 5/2 - 3/2$ или $1/2 - 3/2 - 3/2$. Вторая возможность исключается, если

ТАБЛИЦА II

Теоретические значения коэффициентов A_2 для гамма-каскадов $I_i(\text{DD})/(\text{D} + \leq 0,9\% \text{ Q}) 3/2$

$I \backslash I_i$	1/2	3/2	5/2	7/2
3/2	$-(0,106 \div 0,275)$	$0,085 \div 0,220$	$-(0,021 \div 0,055)$	
5/2		$0,208 \div 0,068$	$-(0,238 \div 0,078)$	$0,075 \div 0,024$

учесть присутствие интенсивного $E1$ перехода 262,1 кэВ между уровнями 303,5 кэВ и 41,5 кэВ (спин последнего $5/2^-$ как будет показано ниже). Следовательно, уровням 303,5 кэВ, 442,2 кэВ и 955,3 кэВ следует приписать значения $I^\pi = 5/2^+$, а уровням 109,7 кэВ и 249,5 кэВ $I^\pi = 5/2^-$. Анализ значения коэффициента A_2 каскада 82,9 — 87,6 кэВ, при известном уже значении спина уровня 211,9($3/2^+$) кэВ, и в предположении, что переход 87,6 кэВ типа $M1 + \leq 1\% E2$, позволяет приписать значения спинов $3/2^-$ и $5/2^-$ уровням 129,1 кэВ и 41,5 кэВ, соответственно.

Используя установленные значения спинов выше обсуждаемых уровней и данные о мультипольностях переходов [2—4], можно ограничить набор возможных значений спинов для других уровней (табл. III).

В табл. III приводятся также значения спинов и четностей уровней ^{153}Gd , предложенные Туурнала и др. [3] и авторами работ [12—15] при исследовании (d, p), (d, t), (He^3 , α) и (α , xn)-реакций.

Б. Коэффициенты смеси δ_γ переходов, разряжающих уровни 109,7 кэВ и 129,1 кэВ

Авторы работ [1, 4], по результатам измерений интенсивностей электронов внутренней конверсии на L -подоболочках интерпретируют переходы 109,7 кэВ и 129,1 кэВ как типа $M1$. Однако, если учесть экспериментальные погрешности

Спины и четности уровней ^{153}Gd

$E_{\gamma\text{p}}$ (кэВ)	Наст. работа	Туррнала и др. [3]	Работы [12—15]
0	$3/2^-$ ^a	$3/2^-$	$3/2^-$
41,5	$5/2^-$	$5/2^-$	$5/2^-$
93,3	$7/2^-$ ^a	$7/2^-$	$7/2^-$
109,7	$5/2^-$	$3/2^-, 5/2^-$	$5/2^-$
129,1	$3/2^-$	$3/2^-, 5/2^-$	$3/2^-$
183,4	$5/2^+$	$5/2^+$	$5/2^+$
195,1		$(1/2)^-$	
211,9	$3/2^+$	$3/2^+$	$3/2^+$
249,5	$5/2^-$	$3/2^-, 5/2^-$	$5/2^-$
303,5	$5/2^+$	$5/2^+$	$(5/2)^+$
315,3	$1/2^-, 3/2^-$	$(3/2)^-$	
316,3	$3/2^+$	$3/2^+, 5/2^+$	
361,7	$3/2^-, 5/2^-$	$(3/2)^-$	$3/2^-$
368,7	$5/2^- (7/2)^-$	$(5/2, 7/2)$	
436,7		$1/2^-, 3/2^-$	
442,2	$5/2^+$	$5/2^+$	$(5/2)^+$
448,6	$5/2^-$	$5/2^-, 7/2^-$	
483,5	$3/2^-, 5/2^+$	+	$1/2^+$
509,1	$3/2^-, 5/2^-$	$(-)$	$3/2^-$
530,4	$3/2^-, 5/2^-$	—	$3/2^-$
548,8	$5/2^-$	$5/2^-$	
709,1	$3/2^+, 5/2^+$	$(+)$	
783,0		$5/2^+$	
875,5		—	$1/2^-$
865,2	$3/2^+, 5/2^+$		
937,3	$(3/2, 5/2)^+$		
945,1	$3/2^+$	$3/2^+$	
955,3	$5/2^+$	+	
1035,0	$(3/2, 5/2)$	+	
1101,5	$3/2^+$	$3/2^+, 5/2^+$	

^a Принятые значения спинов.

в соотношениях $L_1:L_2:L_3$ то для обоих переходов допускаются небольшие ($\lesssim 0,1\%$) примеси компоненты E2. Переход 87,6 кэВ в работах [1—3] классифицируется как чистый M1, в работе [4] как M1+0,1% E2. Исследования ЭВК не решают однозначно также проблему мультипольности перехода 174,4 кэВ.

Дополнительную информацию о мультипольности этих и других переходов можно получить из результатов наших корреляционных измерений. Для этого, принимая установленные нами значения спинов и чисто дипольный (E1) характер переходов: 82,9 кэВ, 102,2 кэВ, 186,8 кэВ, 193,7 кэВ, 206,3 кэВ, 835,4 кэВ, 845,6 кэВ и 991,7 кэВ были определены коэффициенты $A_{2\text{эксп}}^{(2)}$ для переходов 68,2 кэВ, 87,6 кэВ, 109,7 кэВ и 129,1 кэВ, а затем значения их параметров смеси δ_γ . Сред-

ТАБЛИЦА IV

Значения коэффициентов $A_{2\text{эксп}}^{(2)}$ и параметров смеси δ_γ переходов разрежающих уровни 109,7 кэВ и 129,1 кэВ

Переход $I(\gamma_2)I_f$	$A_{2\text{эксп}}^{(2)}$	δ_γ^a
3/2(129,1)3/2	$-0,402 \pm 0,065$	$+0,012 \pm 0,036$
5/2(109,7)3/2	$+0,453 \pm 0,021$	$-0,043 \pm 0,012$
3/2(87,6)5/2	$+0,070 \pm 0,022$	$-0,026 \pm 0,018$
5/2(68,2)5/2	$-0,556 \pm 0,214$	$+0,234^b$

^a δ_γ определено как $\frac{\langle I_f | L+1 | I_i \rangle}{\langle I_f | L | I_i \rangle}$.

^b значение определено по данным работы [4].

невзвешенные значения коэффициентов $A_{2\text{эксп}}^{(2)}$ для этих переходов получены при учете всех каскадов типа $\gamma_1(E1) \rightarrow \gamma_2(M1+E2)$ и соответствующие им значения параметров смеси δ_γ приведены в табл. IV.

Рис. 3, на котором показана зависимость $A_2^{(2)}$ от параметра смеси δ_γ (в пределах $-0,01 \leq \delta_\gamma \leq 0,05$) для переходов 5/2(γ_2)3/2 и 3/2(γ_2)5/2 иллюстрирует точность определения δ_γ для переходов 87,6 кэВ и 109,7 кэВ.

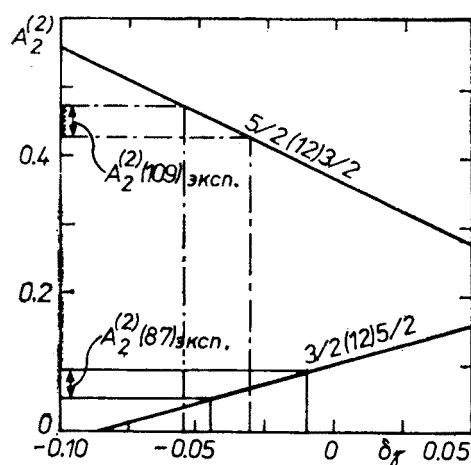


Рис. 3. Определение коэффициентов смеси δ_γ переходов 87,6 кэВ и 109,7 кэВ

Значение коэффициента A_2 тройного каскада 82,9 — (19) — 109,7 кэВ указывает на чистый квадрупольный характер перехода 19 кэВ.

Установленные значения спинов и четностей 5/2⁺ и 3/2⁻ уровней 303,5 кэВ и 129,1 кэВ, соответственно, делают предпочтительным E1 мультипольность для перехода 174,3 кэВ. Такому выводу не противоречат также экспериментально

определенные коэффициенты угловых корреляций каскадов 174,3 — (19) — 109,7 и 174,3 — 87,6 кэВ.

В заключение авторы выражают благодарность К. Я. Громову за постоянную поддержку в работе, И. И. Громовой и Н. А. Лебедеву за приготовление источников.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] B. Harmatz, T. H. Handley, J. W. Mihelich, *Phys. Rev.* **128**, 1186 (1962).
- [2] H. L. Nielson, K. Wilsky, *Nucl. Phys.* **A115**, 377 (1968).
- [3] T. Tuurnala, A. Siivola, P. Jartti, T. Liljavirta, *Z. Phys.* **266**, 103 (1974).
- [4] В. С. Александров, Ц. Вылов, И. И. Громова, К. Я. Громов, Г. Исхаков, В. В. Кузнецов, Н. А. Лебедев, М. Потемпа, М. И. Фоминых, А. Ш. Хамидов, И. Холбаев, препринт ОИЯИ Р6-8316, Дубна 1974; *Изв. АН СССР сер. физ.* **39**, 506 (1975).
- [5] В. С. Александров, Ф. Дуда, О. И. Елизаров, Г. А. Жуков, Г. И. Забиякин, З. Зайдлер, И. Звольски, Е. Т. Кондрат, З. В. Лысенко, В. И. Приходько, В. Г. Тишин, М. И. Фоминых, В. И. Фоминых, В. М. Цупко-Сятников, *Изв. АН СССР сер. физ.* **34**, 69 (1970).
- [6] Я. Ваврышук, А. Ф. Новгородов, В. А. Морозов, Т. М. Муминов, В. И. Разов, Я. Сажински, препринт ОИЯИ, Р6-5526, Дубна 1970.
- [7] W. Andrejtcheff, W. Meiling, F. Stary, *Nucl. Phys.* **A137**, 474 (1969).
- [8] E. Bożek, A. Z. Hryniewicz, S. Ogaza, T. Styczeń, *Phys. Lett.* **11**, 63 (1964).
- [9] G. Polok, M. Rybicka, Z. Stachura, J. Styczeń, *INP Progress report* 1, 116, Cracow 1972.
- [10] K. E. Adelrøth, H. Nyqvist, A. Røsen, *Phys. Scr.* **2**, 96 (1970).
- [11] D. Ali, *Nucl. Phys.* **71**, 441 (1965).
- [12] P. O. Tjøm, B. Elbek, *Mat. Fys. Medd. Dan. vid. Selsk.* **36**, 8 (1967).
- [13] G. Løvholden, D. G. Burke, J. C. Waddington, *Can. J. Phys.* **51**, 1369 (1973).
- [14] G. Løvholden, D. G. Burke, *Can. J. Phys.* **51**, 2354 (1973).
- [15] G. Løvholden, S. A. Hjørh, H. Ryde, L. Harms-Ringdahl, *Nucl. Phys.* **A181**, 589 (1972).