

КОРРЕЛЯЦИИ НАПРАВЛЕНИЙ ГАМА-ЛУЧЕЙ В ^{151}Gd GAMMA-GAMMA ANGULAR CORRELATIONS IN ^{151}Gd

Я. Ваврыщук*, В. Жук*, Р. Ион-Михай**, Э. Крупа*, Г. И. Лизурей,
М. М. Маликов***, Т. М. Муминов****, В. Таньска-Крупа*, И. Холбаев*****

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна*****

(Поступила в редакцию 6 января 1978; исправленная версия поступила 5 июня 1978 г.)

The gamma-gamma angular correlations in the decay of $^{151}\text{Tb} \rightarrow ^{151}\text{Gd}$ were studied for 27 cascades. The results allow to determine more accurately spins of 108(5/2), 395(3/2), 575(1/2) 587(3/2), 812(3/2), 839(1/2), 1087(3/2), and 1192(1/2) keV excited states in ^{151}Gd ; the ratios of reduction matrix elements for 10 mixed electromagnetic transitions were also determined.

Исследованию свойств нечетных ядер с $N = 87$, в настоящее время, уделяется значительное внимание в связи с тем, что экспериментальные факты указывают на сосуществование в этих изотопах состояний с различной степенью деформации. Основные состояния изотонов $^{149}_{62}\text{Sm}_{87}$, $^{151}_{64}\text{Gd}_{87}$ и $^{153}_{66}\text{Dy}_{87}$ с $I^\pi = 7/2^-$ [1, 2] рассматриваются как сферические $2f_{7/2}$. В то же время в ядерных реакциях (α , $2n\gamma$) [3, 4], (α , $3n\gamma$) [5, 6] в указанных изотопах наблюдаются коллективные состояния, которые можно объяснить как ротационно-подобные полосы основанные на деформированных состояниях связанных с подболочками $i_{13/2}(\beta \approx 0,14)$ и $h_{11/2}(\beta \approx 0,29)$.

Если результаты, полученные в ядерных реакциях о высоко спиновых состояниях в рассматриваемых изотопах достаточно хорошо согласуются между собой, то данные о низкоспиновых состояниях, полученные при радиоактивном распаде, нуждаются в уточнении.

Несмотря на то, что распад $^{151}\text{Tb} \rightarrow ^{151}\text{Gd}$ исследовался многими авторами [7—19], до сих пор имеются неустраненные противоречия и неопределенности в зна-

* Университет им. М. Кюри-Склодовской, 20-031 Люблин, ПНР.

** Бухарестский университет, Бухарест, СРР.

*** Институт ядерной физики АН УзССР, Ташкент, СССР.

**** Самаркандский госуниверситет, Самарканд, СССР.

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

чениях спинов возбужденных состояний и мультипольного состава электромагнитных переходов в ^{151}Gd . С целью устранения этих противоречий, в настоящей работе, исследовались γ - γ угловые корреляции каскадов разражающих возбуждённые состояния ^{151}Gd с энергиями ниже 1,2 МэВ.

1. Приготовление радиоактивных источников

Изотоп ^{151}Tb получался в реакции глубокого расщепления ядер Ta протонами с энергией 660 МэВ на синхротрон ОИЯИ. Из облученных мишеней Ta, радиохимическими методами [20], выделялся элемент Tb, который затем разделялся по массам на электромагнитном масс-сепараторе [21]. При этом ионы ^{151}Tb внедрялись в Al-фольги толщиной 5—25 мкм. Для получения источника в жидком виде фольги растворялись в водном растворе соляной кислоты. Радиоактивный раствор помещался в плексигласовые ампулы с $\varnothing 3$ мм и длиной 10 мм.

2. Методика эксперимента

Измерения проводились на двухмерном корреляционном спектрометре с двумя Ge(Li)-детекторами [22] с объемами 40 см³ и 35 см³, и энергетическим разрешением 4 кэВ и 3,5 кэВ на гамма-линии 1332 кэВ ^{60}Co . В качестве накопителя информации использовалась ЭВМ „Минск 2“.

Регистрировались совпадения γ -лучей с фотопиками γ -переходов 108, 180, 192, 252, 287, 395 и 444 кэВ, и с участками комптоновских распределений за фото-

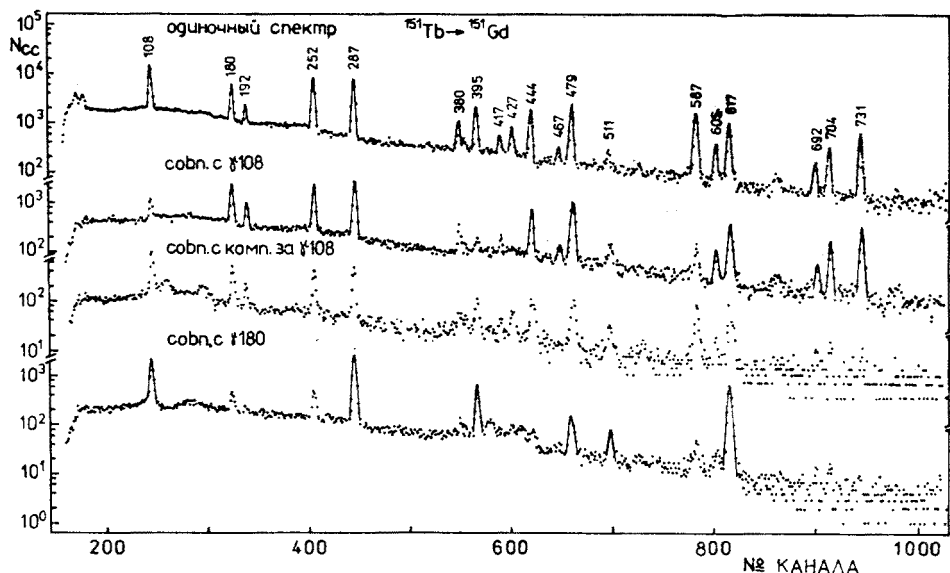


Рис. 1. Одиночный γ -спектр и спектры γ -совпадений при распаде $^{151}\text{Tb} \rightarrow ^{151}\text{Gd}$

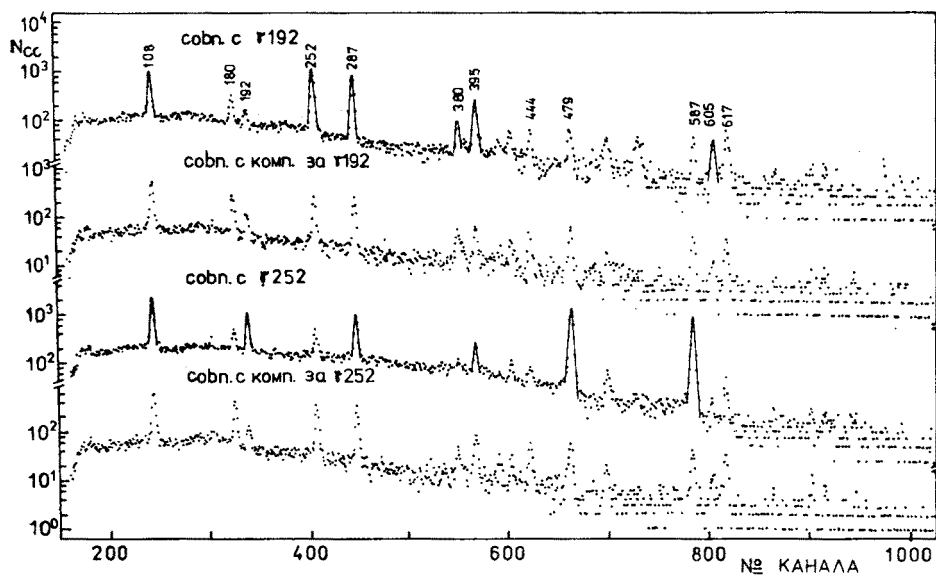


Рис. 2. Спектры γ -совпадений при распаде $^{151}\text{Tb} \rightarrow ^{151}\text{Gd}$

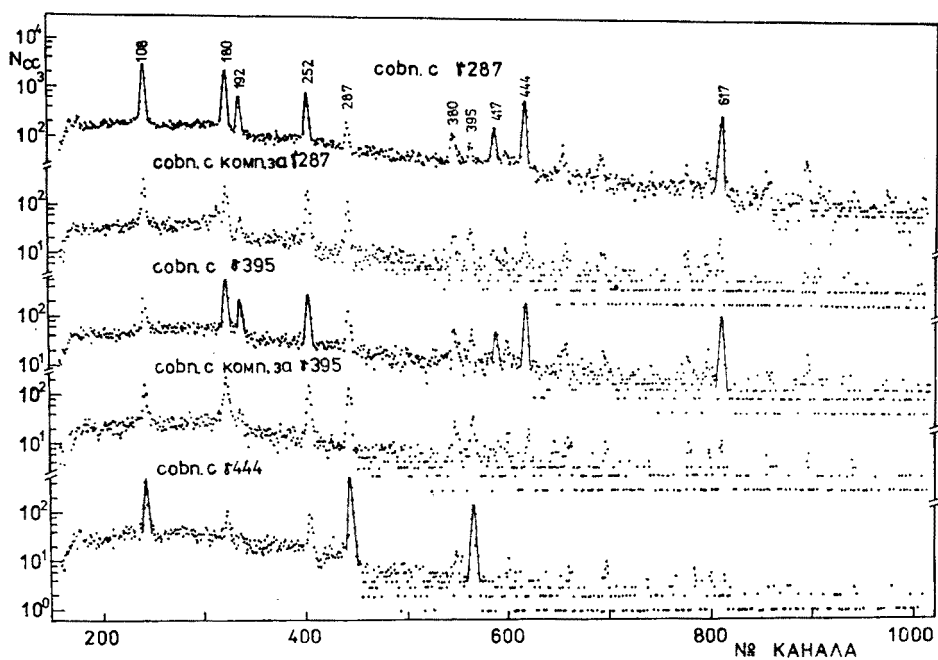


Рис. 3. Спектры γ -совпадений при распаде $^{151}\text{Tb} \rightarrow ^{151}\text{Gd}$

пиками 108, 192, 252, 287 и 395 кэВ (выделяемыми с помощью цифровых окон в γ -спектре подвижного детектора), при угловых позициях детекторов 90° , 135° и 180° . Измерения повторялись три раза, каждое с новым источником ^{151}Tb . Типичные спектры совпадений, полученные в одном опыте при угле 180° , приведены на рис. 1, 2 и 3.

В случае малоинтенсивных и высокоэнергетических каскадов, для уменьшения статистической погрешности, проводились дополнительные измерения на обычной „быстро-медленной“, корреляционной установке с Ge(Li) -детектором объемом 45 см^3 и с двумя подвижными NaJ(Tl) -детекторами размерами $\varnothing 40 \times 40 \text{ мм}$ [23]. Энергетические окна выбирались с помощью дифференциальных дискриминаторов в обоих сцинтилляционных трактах. Спектры совпадений регистрировались участками в отдельных секторах памяти 1024-канального анализатора импульсов, переключаемых автоматически соответственно угловой позиции детекторов 90° , 135° (225°) и 180° . Одновременно измерялись угловые распределения совпадений с двумя окнами установленными на определенном фотопике и его комптоновском „фоне“.

Выполнено ряд измерений для окон: 108, 252, 287, 587 и $587 + 605 + 617$ кэВ. Их результаты дали основной вклад в окончательные значения коэффициентов функции угловых корреляции каскадов: 467, 692, $704-108$ кэВ, 416, 617, $692-287$ кэВ, $605-479$, 587 кэВ и $617-467$ кэВ.

Во всех экспериментах для детекторов использовались конусообразные коллиматоры и цилиндрические экраны для защиты от рассеянного гамма-излучения. Расстояние источник — детекторы составляло от 6 до 9 см. Позиции детекторов менялись циклическим образом с временем экспозиции 400 с. Общая сумма истинных совпадений собранных для наиболее слабых каскадов превышала 10^3 .

Экспериментальные значения коэффициентов A_{22} и A_{44} определялись по обычной методике [29] с учетом поправок на центровку источника, телесные углы и эффективность детекторов. Для каскадов $\gamma - 108$ кэВ ($\tau_{108} = 4,44 \pm 0,08 \text{ нс}$) вводилась дополнительная поправка $G_2(\tau) = 0,92 \pm 0,02$, учитывающая ослабление угловой корреляции. Значение этой поправки оценено по релаксационному параметру $\lambda_2 = (1,88 \pm 0,53) 10^7 \text{ с}^{-1}$ для ядра ^{155}Gd в водном растворе GdCl_3 [30].

3. Результаты измерений и их обсуждение

Полученные значения коэффициентов функции угловых корреляции A_{22} и A_{44} исследуемых каскадов представлены в таблице I. Там же для сравнения приведены результаты работы [17]. Как видно из таблицы, для 17 каскадов коэффициенты A_{22} и A_{44} измерены нами впервые, а для остальных каскадов результаты обоих работ в основном согласуются. Исключение составляют каскады $180-287-108$, $287-108$ и $180-287$ кэВ, в угловое распределение которых, если не предпринять специальных мер (в измерениях с NaJ(Tl) -детекторами), дает большой вклад рассеянное γ -излучение от более жестких переходов находящихся в каскаде с переходами 108, 180 и 287 кэВ.

ТАБЛИЦА I

Значения коэффициентов A_{22} и A_{44} функции гамма-гамма угловых корреляций в ^{151}Gd

Каскад (кэВ)	Наст. работа		Данные работы [17]	
	A_{22}	$A_{44} \cdot G_4$	$A_{22} \cdot G_2$	$A_{44} \cdot G_4$
180—287—108	$-0,209 \pm 0,014$	$-0,017 \pm 0,028$	$-0,021 \pm 0,103$	$-0,042 \pm 0,167$
192—287—108	$+0,075 \pm 0,040$	$+0,034 \pm 0,081$		
287—108	$-0,342 \pm 0,013$	$+0,016 \pm 0,022$	$-0,240 \pm 0,015$	$-0,008 \pm 0,026$
444—287—108	$+0,157 \pm 0,017$	$-0,007 \pm 0,040$		
467—108	$+0,237 \pm 0,100$	$-0,025 \pm 0,180$		
479—108	$+0,040 \pm 0,011$	$+0,030 \pm 0,023$	$+0,050 \pm 0,015$	$-0,018 \pm 0,034$
617—...—108	$-0,007 \pm 0,037$			
692—287—108	$-0,050 \pm 0,039$	$+0,016 \pm 0,098$		
704—108	$+0,048 \pm 0,020$	$+0,007 \pm 0,041$		
731—108	$+0,226 \pm 0,020$	$-0,020 \pm 0,037$	$+0,231 \pm 0,069$	$-0,152 \pm 0,154$
617—180	$+0,035 \pm 0,038$	$+0,020 \pm 0,085$	$+0,002 \pm 0,031$	$+0,089 \pm 0,082$
252—192	$-0,148 \pm 0,032$	$+0,004 \pm 0,063$		
180—287	$+0,218 \pm 0,019$	$+0,017 \pm 0,036$	$+0,040 \pm 0,018$	$+0,037 \pm 0,042$
192—287	$-0,055 \pm 0,026$	$-0,011 \pm 0,048$	$-0,036 \pm 0,066$	$-0,160 \pm 0,160$
380—416—287	$+0,111 \pm 0,100$	$-0,012 \pm 0,196$		
416—287	$+0,048 \pm 0,056$			
444—287	$-0,168 \pm 0,014$	$-0,010 \pm 0,030$	$-0,161 \pm 0,017$	$+0,013 \pm 0,025$
617—180—287	$+0,012 \pm 0,016$	$-0,020 \pm 0,031$		
692—287	$+0,057 \pm 0,054$			
180—395	$-0,081 \pm 0,044$	$-0,045 \pm 0,096$		
192—395	$+0,043 \pm 0,042$	$-0,016 \pm 0,095$		
444—395	$+0,099 \pm 0,070$	$+0,013 \pm 0,137$		
617—467	$+0,001 \pm 0,034$	$+0,002 \pm 0,129$		
252—479	$+0,156 \pm 0,012$	$-0,005 \pm 0,025$	$+0,151 \pm 0,012$	$-0,010 \pm 0,020$
605—479	$+0,166 \pm 0,025$	$+0,040 \pm 0,045$		
252—587	$-0,070 \pm 0,011$	$-0,001 \pm 0,020$	$+0,035 \pm 0,011$	$-0,020 \pm 0,022$
605—587	$-0,067 \pm 0,016$	$+0,003 \pm 0,035$		

При анализе представленных результатов мы исходили из схемы распада $^{151}\text{Tb} \rightarrow ^{151}\text{Gd}$ (рис. 4), предложенной авторами работ [12, 13], мультипольностей γ -переход в определенных в работах [9—13] (таблица II) и значения спина основного состояния $^{151}\text{Gd} I^\pi = 7/2^-$ [1].

В первую очередь рассматривались корреляции направлений наиболее интенсивных гамма-переходов, находящихся в тройных каскадах 180—287—108 кэВ и 444—287—108 кэВ. В обоих каскадах значения коэффициентов A_{22} измерены для каждой пары переходов. В этом случае удобно анализировать параметр

$$R(\gamma_2)_{\text{эксп}} = \frac{A_{22}(\gamma_1 - \gamma_2) \cdot A_{22}(\gamma_2 - \gamma_3)}{A_{22}(\gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3)},$$

который зависит лишь от мультипольного состава промежуточного перехода в трой-

ном каскаде $\gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3$ и от последовательности спинов состояний, связанных этим переходом:

$$R(\gamma_2)_{\text{теор}} = \frac{A_2(I_b I_a L L') \cdot A_2(I_a I_b L L')}{U_2(I_a I_b)}$$

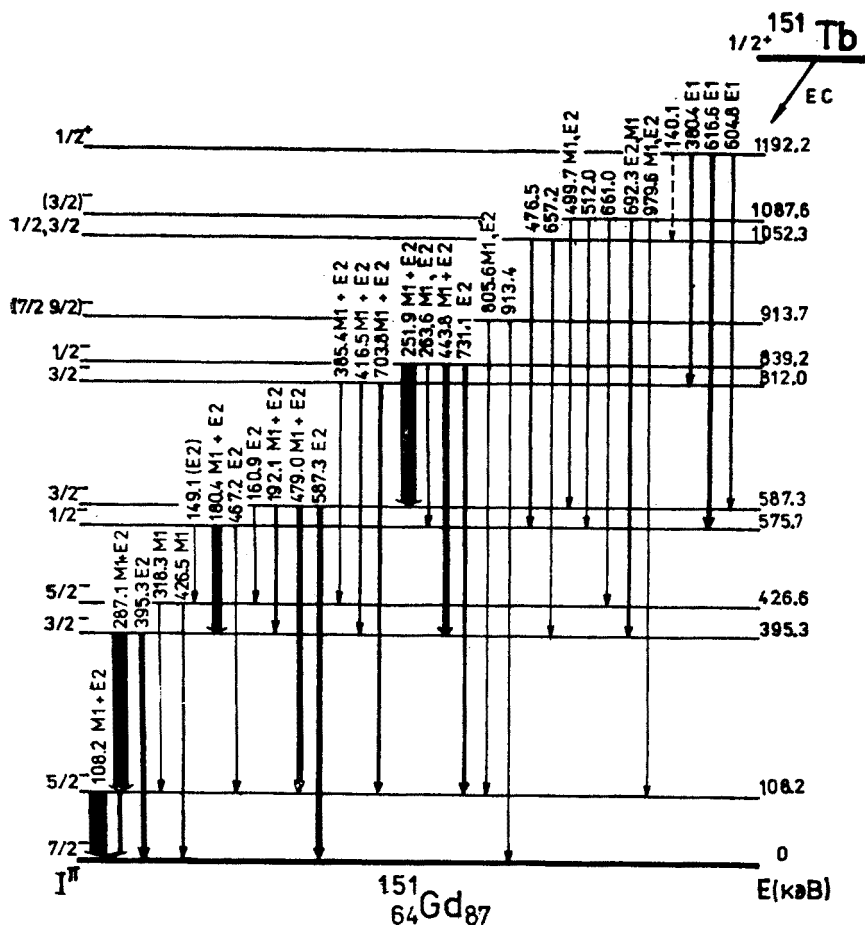


Рис. 4. Фрагмент схемы распада ^{151}Tb

На рис. 5 представлены зависимости $R(\gamma_2)_{\text{теор}}$ от коэффициента $Q(\gamma) = \delta_\gamma^2(1 + \delta_\gamma^2)^{-1}$ для M1+E2 переходов и последовательности спинов $I_a - I_b$: $3/2-5/2$, $5/2-5/2$ и $7/2-5/2$.

Значения коэффициента $R(\gamma_2)_{\text{эксп}}$ для перехода 287 кэВ полученные из обоих рассматриваемых тройных каскадов, хорошо согласуются между собой:

$$R(287)_{\text{эксп}} = +0,357 \pm 0,042 \quad \text{из каскада} \quad 180-287-108 \text{ кэВ}$$

и

$$R(287)_{\text{эксп}} = +0,366 \pm 0,053 \quad \text{из каскада} \quad 444-287-108 \text{ кэВ}$$

ТАБЛИЦА II

Мультипольности некоторых гамма переходов в ^{151}Gd

Переход $I_i^{\pi}(E_{\gamma}) I_f^{\pi}$	Мультипольность		δ_{γ}
	из КВК [9—13]	наст. работа	
5/2 ⁻ (108)7/2 ⁻	M1 + (40,6 ± 2,4)% E2 ^a	M1 + (28—59)% E2	-0,828 ± 0,024 ^b
1/2 ⁻ (180)3/2 ⁻	M1 + (2,9 ± 1,9)% E2 ^a	M1 + (0,6 ± 0,4)% E2	-0,075 ± 0,024
3/2 ⁻ (192)3/2 ⁻	M1 + (1,3 ± 1,2)% E2 ^a	M1 + (1,3 ^{+1,3} _{-0,8})% E2	-0,116 ± 0,046
1/2 ⁻ (252)3/2 ⁻	M1 + (4,4 ± 1,0)% E2 ^a	M1 + ≤ 0,3% E2	≤ 0,05
3/2 ⁻ (287)5/2 ⁻	M1 + (6,5 ± 1,9)% E2 ^a	M1 + (4,1 ± 0,7)% E2	+0,208 ± 0,016
1/2 ⁺ (380)3/2 ⁻	E1	E1	
3/2 ⁻ (395)7/2 ⁻	E2 + M1, E2	E2	
3/2 ⁻ (416)3/2 ⁻	M1	M1 + (13 ± 8)% E2	+0,39 ^{+0,11} _{-0,16}
1/2 ⁻ (444)3/2 ⁻	M1, M1 + E2, E2 + E0	M1 + (23,8 ± 0,9)% E2	-0,559 ± 0,014
1/2 ⁻ (467)5/2 ⁻	E1, E2	E2	
3/2 ⁻ (479)5/2 ⁻	E2, M1 + E2	M1 + (99,7 ± 0,1)% E2	+18,4 ^{+4,8} _{-3,0}
3/2 ⁻ (587)7/2 ⁻	E2 + M1, E2	E2	
1/2 ⁺ (604)3/2 ⁻	E1	E1	
1/2 ⁺ (617)1/2 ⁻	E1, E1 + M2	E1	
3/2 ⁻ (692)3/2 ⁻	E2 + M1, M1	M1 + (99,0 ^{+0,5} _{-2,0})% E2	+9,9 ± 4,2
		или	
		M1 + (12,2 ± 4,8)% E2	+0,37 ± 0,08
3/2 ⁻ (704)5/2 ⁻	M1 + E2, M1	M1 + (5,8 ± 1,1)% E2	-0,25 ± 0,02
1/2 ⁻ (731)5/2 ⁻	E2	E2	

* Примеси E2-компоненты вычислены из соотношений интенсивностей ЭВК на L -подоболочках по данным работ [9, 10]. ^b См. текст.

Пользуясь средне-взвешенным значением $R(287)_{\text{экс}} = +0,361 \pm 0,033$ и учитывая, что переход 287 кэВ содержит около 6% квадрупольной примеси [10] получаем для состояния 395 кэВ спин $I = 3/2$ или $7/2$, а для 108 кэВ спин $I = 5/2$ (рис. 5). При последовательности спинов $3/2 \rightarrow 5/2$, рассматриваемых состояний 395 кэВ и 108 кэВ, для перехода 287 кэВ следует значение квадрупольной примеси $Q(287) = 0,043 \pm 0,008$ с $\delta(287) > 0$. Возможное значение спина $7/2$ для уровней 395 кэВ и 108 кэВ исключается по данным работ [12, 13, 24] и приводит к разногласию значений коэффициентов функции угловых корреляций для многих других каскадов.

Используя выводы о значении и знаке $\delta(287)$, из коэффициента A_{22} каскада 287—108 кэВ имеем для перехода 108 кэВ значения

$$A_2(108) = -0,465 \pm 0,031, \quad Q(108) = 0,28 \div 0,59 \quad \text{и} \quad \delta(108) < 0.$$

В работах [9, 10] для перехода 108 кэВ измерены соотношения интенсивностей электронов внутренней конверсии на L -подоболочках. Пользуясь результатами

обеих работ и таблицами КВК [25], и принимая для соотношений $L_1 : L_2 : L_3$ 10-процентные погрешности, получаем $Q(108)_{\text{КВК}} = 0,406 \pm 0,024$, что соответствует $A_2(108) = -0,471^{+0,001}_{-0,003}$. Последнее значение $A_2(108)$ находится в хорошем

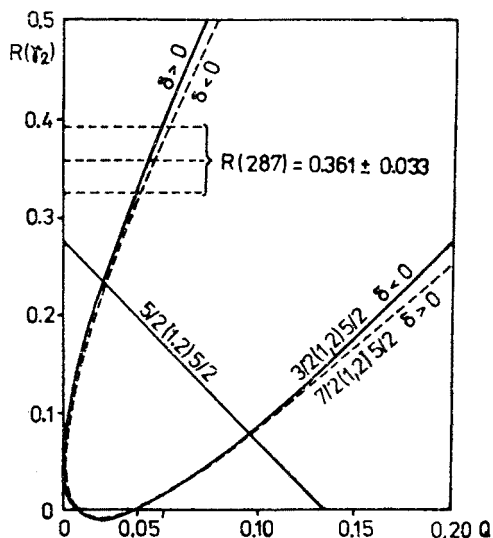


Рис. 5. Зависимость коэффициента $R(\gamma_2)$ от $Q(\gamma_2)$ для γ -переходов $3/2(1,2) 5/2$, $5/2(1,2) 5/2$ и $7/2(1,2) 5/2$

согласии с приведенным выше результатом. Для дальнейшего анализа коэффициентов A_{22} каскадов γ — 108 кэВ используется средневзвешенное значение обоих результатов.

Это позволяет, из повторного анализа коэффициента A_{22} каскада 287—108 кэВ, уточнить также значения $Q(287)$ и $A_2(287)$: $Q(287) = 0,041 \pm 0,007$, $A_2(287) = 0,347 \pm 0,018$, которые используются при обсуждении всех коэффициентов A_{22} каскадов γ — 287 кэВ.

Анализ угловых распределений каскадов: 180—287—108, 180—287, 180—395, 467—108, 617—180, 617—180—287 и 617—...—108 кэВ подтверждает значение спина $I = 1/2$ для уровня 575 кэВ, установленного в работах [12, 17]. При этом получаются $Q(180) = 0,006 \pm 0,004$ с $\delta(180) < 0$ и подтверждается квадрупольный характер переходов 395 кэВ и 467 кэВ.

На основе мультипольностей переходов, разряжающих уровень 587 кэВ и схемы Нильссона ему были приписаны характеристики $5/2^-$ [12].

В работе [17], по угловым корреляциям, этому уровню приписано значение $3/2^-$, которое подтвердилось при изучении реакций $^{152}\text{Gd}(d, t) ^{151}\text{Gd}$ и $^{152}\text{Gd}(^3\text{He}, \alpha) ^{151}\text{Gd}$ в работе [24]. Совместный анализ полученных нами значений коэффициентов A_{22} для каскадов 192—287, 192—395, 192—287—108 и 479—108 кэВ также дает для этого состояния значение спина $3/2$, а для переходов 192 и 479 кэВ следующие примесные компоненты E2: $Q(192) = 0,013^{+0,013}_{-0,008}$ с $\delta(192) < 0$ и $Q(479) = 0,997 \pm 0,001$ с $\delta(479) > 0$ или $Q(479) = 0,050 \pm 0,005$ с $\delta(479) < 0$.

На основе измеренных коэффициентов A_{22} каскадов 252—479, 252—587 и 252—192 кэВ, при использовании определенных выше коэффициентов смеси переходов 192 кэВ и 479 кэВ и учитывая, что мультипольность перехода 587 кэВ — E2 [12, 13], получаем следующие значения для $A_2(252)$:

$$\begin{aligned} +0,49 \pm 0,08 & \text{ из } A_{22}(252-587) \\ +0,68 \pm 0,27 & \text{ из } A_{22}(252-192) \\ +0,37 \pm 0,20 & \text{ из } A_{22}(252-479) \text{ при } \delta(479) > 0 \\ -1,08 \pm 0,12 & \text{ из } A_{22}(252-479) \text{ при } \delta(479) < 0. \end{aligned}$$

Последнее значение, соответствующее $\delta(479) < 0$, исключается ввиду явного противоречия с остальными. В среднем для перехода 252 кэВ получаем $A_2(252) = +0,488 \pm 0,072$. Это значение требует приписать уровню 839 кэВ спин $I = 1/2$

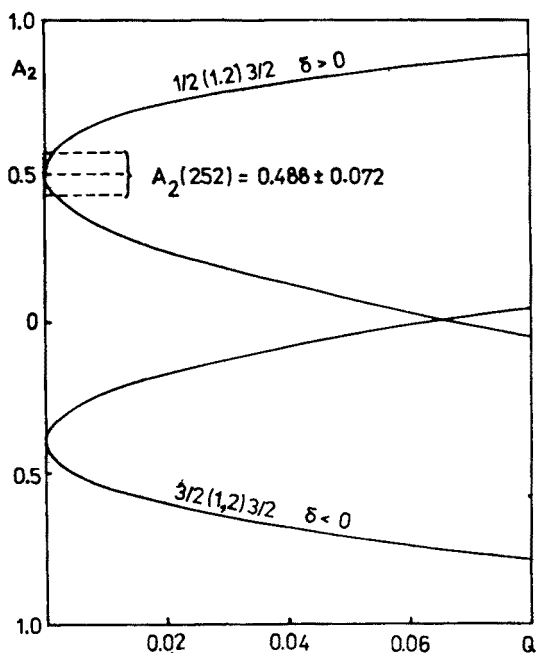


Рис. 6. Зависимость коэффициента A_2 от параметра Q для гамма переходов между состояниями со спинами $1/2-3/2$ и $3/2-3/2$

и мультипольность $M1+ \leq 0,3\%$ E2 для перехода 252 кэВ — рис. 6. Вывод о мультипольности перехода 252 кэВ находится в согласии с результатами работ по изучению ЭВК [9—12].

Характеристики $I^\pi = 1/2^-$, приписанные уровню 839 кэВ, подтверждаются также при анализе углового распределения каскада 731—108 кэВ, если переход 731 кэВ рассматривать согласно данным работ [12, 13] как E2.

Полученное нами значение $1/2$ для спина рассматриваемого уровня отличается

от выводов работ [12, 13, 17], в которых этому уровню приписывалось значение $I = 3/2$.

Анализ угловых корреляций каскадов 444—287 и 444—395 кэВ, разряжающих уровень 839 кэВ, со спином $1/2$, дает для перехода 444 кэВ значение квадрупольной примеси $23,8 \pm 0,9\%$ с $\delta(444) < 0$, что находится в согласии с результатом работы [13] и близко к результату работы [26].

Аналогично, анализ коэффициентов A_{22} каскадов 604—479 и 604—587 кэВ, разряжающих уровень 1192 кэВ, приводит к значению коэффициента $A_2(604) = +0,45 \pm 0,10$ такому же, как для перехода 252 кэВ. При мультипольности перехода 604 кэВ $E1$ это значение требует приписать уровню 1192 кэВ, как и уровню 839 кэВ, значение спина $1/2$, вместо $3/2$, как это предлагалось в работах [12, 13].

Присутствие дипольного $E1$ перехода 380 кэВ между состояниями 1192 и 812 кэВ требует приписать уровню 812 кэВ $I^\pi = 1/2^-$ или $3/2^-$. Экспериментальные значения коэффициентов A_{22} каскадов 704—108, 416—287 и 380—416—287 кэВ исключают значение $1/2$. При этом получаются следующие квадрупольные примеси для переходов 416 и 704 кэВ: $Q(416) = 0,13 \pm 0,08$ с $\delta(416) > 0$ и $Q(704) = 0,06 \pm 0,01$ с $\delta(704) < 0$.

Рассматривая мультипольности переходов разряжающих уровень 1087 кэВ и измеренные значения коэффициентов A_{22} каскадов 692—287—108 и 692—287 кэВ приходим к выводу, что наиболее вероятное значение спина этого уровня $3/2$, а $Q(692) = 0,99^{+0,01}_{-0,02}$ или $Q = 0,12 \pm 0,05$ и с $\delta(692) > 0$.

При анализе ряда спектров совпадений гамма-лучей с переходом 180 кэВ проявился слабый переход с энергией 476 кэВ, что подтверждает наличие в ^{151}Gd уровня с энергией 1051 кэВ, установленного Ловхойденем и др. [24] при изучении реакций (d, t) и $(^3\text{He}, \alpha)$.

Выводы:

Результаты наших исследований угловых корреляций гамма-лучей при распаде ^{151}Tb позволили:

1. Подтвердить значения спинов для возбужденных состояний 108, 395, 575 и 587 кэВ как $5/2$, $3/2$, $1/2$ и $3/2$ соответственно, установить значения спинов для уровней 812, 839, 1087 и 1192 кэВ как $3/2$, $1/2$, $3/2$ и $1/2$ соответственно.
2. Определить отношения приведенных матричных элементов для 10 смешанных $M1 + E2$ переходов (таблица II).
3. Установленные значения спинов уровней 1192, 389 и 575 кэВ как $I = 1/2$ в ^{151}Gd наиболее интенсивно заселяемых (17%, 51% и 4% соответственно) при распаде ^{151}Tb подтверждает значение спина основного состояния ^{151}Tb $I = 1/2$ [27, 28].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] C. Ekstrom, S. Ingelman, M. Olsmats, B. Wannberg, *Phys. Scr.* **6**, 181 (1972).
- [2] A. Rosen, C. Ekstrom, H. Nyqvist, K. E. Adelroth, *Nucl. Phys.* **A154**, 283 (1970).
- [3] H. J. Smith, D. G. Burke, M. W. Johns, G. Lovhoiden, J. C. Waddington, *Phys. Rev. Lett.* **31**, 944 (1973).

- [4] H. J. Smith, J. C. Weddington, M. W. Johns, *Bull. Am. Phys. Soc.* **20**, 624 (1975).
- [5] P. Kleinheinz, R. K. Sheline, M. R. Maier, R. M. Diamond, F. S. Stephens, *Phys. Rev. Lett.* **32**, 68 (1974).
- [6] P. Kleinheinz, A. M. Stefanini, M. R. Maier, R. K. Sheline, R. M. Diamond, F. S. Stephens, *Nucl. Phys.* **A283**, 189 (1977).
- [7] J. H. Mihelich, B. Harmatz, T. H. Handley, *Phys. Rev.* **108**, 989 (1957).
- [8] А. Т. Стригачев, Л. С. Новиков, А. А. Сорокин, В. А. Халкин, Н. В. Цветкова, В. С. Шпинель, *Изв. АН СССР, сер. физ.* **25**, 813 (1961).
- [9] N. Harmatz, T. H. Handley, J. H. Mihelich, *Phys. Rev.* **128**, 1186 (1962).
- [10] K. Kormicki, H. Niewodniczański, Z. Stachura, K. Zuber, A. Budziak, Report of the Institute of Nuclear Physics, Cracow, 481/PL, 1966.
- [11] К. Вильский, В. В. Кузнецов, О. Б. Нильсен, О. Скилбрайт, В. А. Халкин, *ЯФ* **6**, 672 (1967).
- [12] М. Гонсиор, И. И. Громова, Г. И. Исхаков, В. В. Кузнецов, М. Я. Кузнецова, М. Михайлов, А. В. Потемпа, В. И. Фоминых, *Acta Phys. Pol.* **B2**, 307 (1971).
- [13] E. Hammarén, P. Puhakka, A. Siivola, T. Tuurnala, *Z. Phys.* **A272**, 341 (1975).
- [14] Б. С. Дзелепов, П. А. Тишкин, И. А. Шишелов, *Программа и тезисы докладов XVII Ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра*, Изд. Наука, Ленинград 1967, с. 59.
- [15] В. А. Морозов, Т. М. Муминов, В. И. Разов, *ЯФ* **11**, 921 (1970).
- [16] В. П. Афанасьев, И. И. Громова, Н. А. Лебедев, В. А. Морозов, Т. М. Муминов, Х. Фуя, А. Б. Халикулов, Ф. Ш. Хамраев, Сообщение ОИЯИ, Р6-6426, Дубна 1972.
- [17] Я. Ваврышук, В. Жук, Э. Крупа, В. В. Кузнецов, В. А. Морозов, Х. Фуя, А. Б. Халикулов, *Изв. АН СССР, сер. физ.* **36**, 757 (1972).
- [18] T. Badica, D. Bogdan, C. Ciertea, S. Dima, A. Petrovici, I. Popescu, I. I. Gromova, *Z. Phys.* **A277**, 217 (1976).
- [19] Я. Ваврышук, И. И. Громова, В. Жук, Р. Ион-Михай, Э. Крупа, Г. И. Лизурей, М. М. Маликов, Т. М. Муминов, В. Таньска-Крупа, И. Холбаев, Препринт ОИЯИ, Р6-10703, Дубна 1977.
- [20] Б. И. Преображенский, О. М. Лилова, А. А. Добронравова, Е. Д. Тетерин, *Журнал аналитической химии* **1**, 2294 (1956).
- [21] В. П. Афанасьев, А. Т. Василенко, И. И. Громова, Ж. Т. Желев, В. В. Кузнецов, М. Я. Кузнецова, Д. Мончка, Ю. Поморски, В. И. Райко, А. В. Ревенко, В. М. Сороко, В. А. Уткин, Сообщение ОИЯИ, 13—4763, Дубна 1969.
- [22] Б. А. Аликов, М. Будзынски, Я. Ваврышук, К. Я. Громов, Р. Ион-Михай, Э. Крупа, Г. И. Лизурей, М. М. Маликов, Т. М. Муминов, В. И. Стегайлов, В. Таньска-Крупа, В. И. Фоминых, М. И. Фоминых, И. Холбаев, В. М. Цупко-Ситников, *ПТЭ* **3**, 57 (1977).
- [23] Б. А. Аликов, М. Будзынски, Я. Ваврышук, 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.
- [24] G. Løvnhøiden, D. G. Burke, *Can. J. Phys.* **53**, 1182 (1975).
- [25] R. S. Hager, E. S. Seltzer, *Nucl. Data A14*, No 1 (1968).
- [26] В. В. Кузнецов, В. А. Морозов, Т. М. Муминов, *ЯФ* **21**, 917 (1975).
- [27] K. E. Adelroth, H. Nyqvist, A. Rosen, *Phys. Scr.* **2**, 96 (1974).
- [28] Б. С. Неганов, В. Н. Павлов, И. Ржиковска, М. Фингер, В. М. Цупко-Ситников, Э. Яноут, *Тезисы докладов XXVII Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра*, Изд. Наука, Ленинград 1977, стр. 366.
- [29] F. Gimmi, E. Heer, P. Scheerrer, *Helv. Phys. Acta* **29**, 145 (1956).
- [30] E. Bożek, A. Z. Hryniewicz, S. Ogaza, J. Styczeń, *Phys. Lett.* **11**, 63 (1964).