

С 341.16 + С 341.28

A-139

12.18.1967

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6 - 3343



А. Абдумаликов, И. Адам, Я. Врзал, В. Гнатович,
К. Громов, М. Кузнецова, В. Кузнецов, Я. Липтак,
В. Морозов, Г. Музиоль, Я. Урбанец, М. Фингер,
В. Чумин

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

О РАСПАДЕ ^{166}Tl

1967.

P6 - 3343

А. Абдумаликов, И. Адам, Я. Врзал, В. Гнатович,
К. Громов, М. Кузнецова, В. Кузнецов, Я. Липтак,
В. Морозов, Г. Музиоль, Я. Урбанец, М. Фингер,
В. Чумин

О РАСПАДЕ ^{166}Tl



5248/1, mp.

Исследование свойств возбужденных состояний ^{166}Fr , возникающих при распаде ^{166}Tl , представляет большой интерес. Ядро ^{166}Fr является сильнодеформированным ядром и поэтому, исследуя его свойства, можно проверить предсказания обобщенной и сверхтекучей модели ядра. Большая энергия распада ^{166}Tl (~ 3 Мэв) дает возможность получить сведения о высоковозбужденных состояниях ^{166}Fr .

Исследованию излучения, возникающего при распаде ^{166}Tl , было посвящено много работ /1-17/. В этих работах было установлено, что при распаде ^{166}Tl в ^{166}Fr возбуждаются уровни типа 2^+ , 4^+ , 6^+ ротационной полосы основного состояния, уровни типа 2^+ , 3^+ , 4^+ и 5^+ ротационной полосы γ -вибрационного состояния, уровни с энергиями 2133 и 2160 кэв. Был изучен ряд свойств этих состояний.

Используя благоприятные возможности, имеющиеся в нашей лаборатории, мы повторили исследование распада ^{166}Tl . Предварительные результаты этой работы были доложены на Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре ядра в Тбилиси (1964 год) и Минске (1965 год).

1 Экспериментальная техника. Результаты исследований

1. Приготовление источников

Источники ^{166}Tu мы получали в реакции глубокого расщепления при облучении танталовой мишени протонами с энергией 660 Мэв на синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований. Редкоземельные элементы выделялись из танталовой мишени с лантаном в качестве носителя и разделялись между собой хроматографическим методом. Исползованный метод выделения редкоземельных элементов из облученной танталовой мишени описан в ^{18/}. В получаемых после хроматографического разделения фракциях редкоземельных элементов содержатся все изотопы данного редкоземельного элемента, образующиеся в реакции глубокого расщепления. Это обстоятельство заставило нас отказаться от использования препаратов тулиевой фракции для исследований распада ^{166}Tu . В тулиевой фракции наряду с ^{166}Tu ($T_{1/2} = 7,7$ час) содержится ряд других изотопов тулия: ^{163}Tu ($T_{1/2} = 2$ часа), ^{165}Tu ($T_{1/2} = 29$ час) ^{167}Tu ($T_{1/2} = 9,8$ дн.) и ^{168}Tu ($T_{1/1} = 85$ дн.). Присутствие других изотопов тулия затрудняет анализ экспериментальных результатов. Более удобным оказалось использовать источники фракции иттербия. В иттербиевой фракции ^{166}Tu образуется как дочерний продукт при распаде ^{166}Yb ($T_{1/2} = 58$ час). Другие изотопы иттербия, содержащиеся в иттербиевой фракции, практически не мешают исследованиям, так как их периоды полураспада заметно отличаются от периода полураспада ^{166}Yb , ^{164}Yb ($T_{1/2} = 76$ мин.) и ^{169}Yb ($T_{1/2} = 32$ дн.). Энергия распада ^{166}Yb измерена в ^{19/}. Она равна $(260 \pm \frac{120}{20})$ кэв. В связи с этим при исследовании спектров в области больших энергий (> 300 кэв) можно было использовать источники, содержащие ^{166}Yb в равновесии с ^{166}Tu и относить все жесткие γ -переходы к распаду ^{166}Tu . Это удобнее, так как период полураспада ^{166}Yb в ~ 7 раз больше периода полураспада ^{166}Tu . В тех случаях, когда это было необходимо, использовались источники ^{166}Tu , выделенного из иттербиевой фракции. Эти источники были моноизотопны.

Облучения танталовой мишени на внутреннем пучке протонов синхроциклотрона длилось от 2 до 10 часов. Химические операции - выделение иттербия и приготовление источника - заканчивались через 3-15 часов, соответственно, после конца облучения. Источники для β -спектрографа готовились электролитически на платиновой проволочке толщиной 0,1 мм и длиной 5-6 мм. Ис-

точники для β -спектрометра с двукратной фокусировкой на угол $\pi\sqrt{2}$ готовились выпариванием капли раствора, содержащего ^{166}Yb на полоске алюминиевой фольги толщиной 5 микрон и шириной 0,5 мм. Высота источников была не более 10 мм. Источники для γ -спектрометров готовились выпариванием капли раствора на алюминиевой фольге.

Благодаря высокой интенсивности внутреннего пучка протонов на синхротроне (около 2 мка) и хорошо отработанным методом химической обработки облученных мишеней мы имели возможность получать источники ^{166}Yb очень большой полной и удельной активности и высокой степени чистоты. Активность источников ^{166}Yb достигала в ряде случаев 50 милликюри.

2. Измерение спектра конверсионных электронов в ^{166}Tl

При измерениях спектра конверсионных электронов мы поставили перед собой задачу получить наиболее полные и точные данные об энергиях и интенсивностях линий конверсионных электронов, возникающих при распаде ^{166}Tl . Измерения выполнены с помощью двух приборов: β -спектрографа с постоянным магнитом полем и β -спектрометра с двукратной фокусировкой пучка на угол $\pi\sqrt{2}$.

Исследование спектра конверсионных электронов в области энергий от 20 до 1400 кэв производилось на β -спектрографе с постоянным магнитным полем и фотографической регистрацией электронов. Использованный прибор описан в /21/. Методы определения энергий и относительных интенсивностей линий конверсионных электронов описаны в /22/. Измерения выполнены при средней разрешающей способности β -спектрографа около 0,08%. Результаты этих измерений представлены в табл. 1.

При определении энергий линий конверсионных электронов в качестве калибровочных были использованы конверсионные линии γ -переходов, возникающих при распаде ^{169}Yb и ^{160}Ho , энергии которых измерены с высокой точностью ($\sim 0,02\%$) в работах /23,24/. Такая калибровка дала нам возможность определить абсолютные значения энергий γ -переходов в области до 1400 кэв с точностью не хуже 0,03%. Относительные интенсивности конверсионных линий с энергией больше 150 кэв определены с точностью не хуже 20% для сильных

(интенсивность больше 20 относительных единиц см. в таблице 1) и не хуже 400 для более слабых линий. Для конверсионных линий с энергией меньше 150 кэв точность в определении относительных интенсивностей несколько хуже из-за резкого изменения чувствительности эмульсии при уменьшении энергии.

Измерения спектра конверсионных электронов в области энергий от 800 до 3000 кэв производились с помощью β -спектрометра с двукратной фокусировкой на угол $\sqrt{2}$. Спектрометр такого типа впервые описан Шестопаловой^{/25/}. Основным преимуществом этого прибора является очень малый фон при сохранении хороших главных спектрометрических характеристик (разрешающая способность и светосила) спектрометра с двойной фокусировкой. Построенный в нашей лаборатории прибор такого типа описан в^{/26/}. Измерения велись при разрешающей способности прибора $\sim 0,2 + 0,25\%$. Светосила при этом была $\sim 0,1\%$. Фон регистрирующей системы — менее 1 импульса в сутки. Для определения энергий линий конверсионных электронов измерялась напряженность магнитного поля в центре зазора магнита (однородной области). Для градуировки по энергиям были использованы точные значения линий конверсионных электронов $\text{Th}(B+C^+C^{\prime\prime})$ ^{/27/}. Для этой цели были изготовлены источники $\text{Th}(B+C^+C^{\prime\prime})$ и на них выпарен препарат иттербия. Конверсионные линии Th и ^{166}Tl измерялись в одном опыте.

В таблице 2 представлены полученные в этих измерениях сведения о жесткой части спектра конверсионных электронов ^{166}Tl . Энергии линий конверсионных электронов определены с точностью не хуже 0,1%. Интенсивности линий и погрешности их определения приведены в таблице.

Сравнивая приведенные в таблицах 1 и 2 данные с результатами более ранних исследований спектра конверсионных электронов ^{166}Tl ^{/1,5,6,11,14/}, можно сделать следующие заключения.

А. Полученные результаты в основном хорошо согласуются с результатами более ранних работ. В работах Хармаца и др.^{/5,8/} распаду ^{166}Tl были приписаны γ -переходы с энергиями 289,8, 1074,1, 1308,7, 1498,2, 1829,3, 2088,1 кэв. Мы таких переходов не наблюдали и считаем, что приписание этих

ТАБЛИЦА I

Энергии гамма-переходов и относительные интенсивности
линий конверсионных электронов, возникающих при распаде ^{166}Tm

E_{γ} кэВ	Относительные интенсивности						Мультипольность
	K	L_I	L_{II}	L_{III}	M	N	
73,50	-	$\approx 1,4$	I4	I4	-	-	E2
80,60	$48 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^3$	$48 \cdot 10^3$	$51 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	E2
84,15	≈ 20	130	≈ 14	-	слаб.	-	M1
96,80	сложн.	2,8	I9	I8	II	-	E2
112,75*	сложн.	I4	$\sim 7,0$	$\sim 5,5$	-	-	M1 + E2
131,10	сложн.	I4	сложн.	слаб.	-	-	(M1 + E2)
147,30	30	сложн.	-	-	-	-	-
154,45	II0	I4	2,8	I,7	5,0	слаб.	M1 + E2
170,35	22	2,5	6,7	5,9	сложн.	-	E2
184,40	3000	330	580	500	420	-	E2
194,80	280	42	3,9	0,55	-	4,7	M1
215,20	180	22	3,7	4,2	7,0	слаб.	E1
215,80*	5,6	-	-	-	-	-	-
228,15*	8,6	слаб.	-	-	-	-	-
238,50	II	слаб.	-	-	-	-	-
280,3	22	3,1	3,3	2,5	слаб.	-	E2
293,1*	слаб.	-	-	-	-	-	-
298,1*	22	сложн.	-	-	-	-	-
319,8	$\approx 8,2$	сложн.	-	-	-	-	-
345,7	42	6,7	2	-	-	-	-

E_{λ} кэВ	Относительные интенсивности			E_{λ} кэВ	Относительные интенсивности		
	К	Л	М		К	Л	М
385,5*	слаб.	-	-	705,3	72	7,0	слаб.
389,4*	2,8	-	-	712,4	слаб.	-	-
390,3	2,2	-	-	729,4	слаб.	-	-
403,9	40	7,0	сложн.	757,7	28	$\pm 3,6$	слаб.
410,9	2,5	-	-	778,8	89	II	сложн.
413,5	2,9	-	-	785,9	45	8,3	слаб.
429,7	4,2	-	-	810,1	6,1	слаб.	-
459,6	II0	I4	3,1	875,5	I4	слаб.	-
471,6	3,6	-	-	1057,5	слаб.	-	-
496,7*	слаб.	-	-	1078,9	слаб.	-	-
520,9	2,8	-	-	1084,8	слаб.	-	-
529,8	2,8	-	-	1152,3	8,3	слаб.	-
543,4*	слаб.	-	-	1176,5	45	$\pm 7,8$	слаб.
594,3	26	5,5	слаб.	1203,9	5,2	-	-
598,7	8,2	слаб.	-	1235,3	слаб.	-	-
604,3	слаб.	-	-	1263,2	слаб.	-	-
672,0	15	слаб.	-	1273,4	50	8,4	слаб.
674,6	6,7	-	-	1300,8	$\pm 5,2$	-	-
691,1	48	5,6	слаб.	1347,0	слаб.	-	-
702,4*	7,2	слаб.	-	1374,3	17	-	-

Примечания:

1. Единицы интенсивности конверсионных линий выбраны так, чтобы интенсивность линии К-1273,4 кэВ была равна 50.
2. "сложн." - обозначает, что в том участке спектра, где должна быть указанная линия, имеются другие линии, которые мешают определить ее интенсивность или, в некоторых случаях, даже идентифицировать ее.
3. "слаб!" - линия наблюдается визуально, но интенсивность настолько мала, что определить ее с помощью микрофотометра нельзя.
4. Пропуски обозначают, что линия не наблюдается даже визуально.
5. Переходы отмеченные * наблюдались в настоящей работе впервые.

ТАБЛИЦА 2

Результаты измерений спектра конверсионных электронов
 ^{166}Tl в области энергий выше 800 кэВ

Энергия гамма-перехода (кэВ)	Относительные интенсивности		
	I_M	I_L	$I_{\text{пр}}$
I	2	3	4

875,8 ± 0,5	18,6 ± 0,2	4,0 ± 1,3	0,9 ± 0,3
1022,5*	0,23 ± 0,12		
1045,8*	0,31 ± 0,15		
1057,8	1,74 ± 0,3	0,3 ± 0,15	
1079,1	2,8 ± 0,6	0,4 ± 0,2	
1085,0*	0,9 ± 0,3	0,3 ± 0,15	
1097,6*	0,2 ± 0,1		
1120,8*	0,37 ± 0,2		
1152,4	6,1 ± 0,6		
1161,4*	0,85 ± 0,3	< 0,3	
1176,6 ± 0,8	37,1 ± 0,4	5,7 ± 1,2	1,7 ± 0,8
1187,5*	0,3 ± 0,15		
1192,3	0,25 ± 0,12		
1200,6*	2,0 ± 0,7		
1203,5	3,1 ± 1,0	< 0,8	
1216,3*	0,8 ± 0,3		
1234,9	1,4 ± 0,7	0,25 ± 0,12	
1263,5	2,5 ± 1,2	0,85 ± 0,42	

I	2	3	4
I273,4 ± 0,8	50,0 ± 0,8	7,9 ± 0,8	
I300,8	4,5 ± 0,5		
I347,1	3,1 ± 0,3	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1
I358,0	0,3		
I376,6 ± 1,0	14,6 ± 1,5	2,1 ± 0,3	
I430,9	2,0 ± 0,7	0,3 ± 0,15	
I437,3 [±]	0,12 ± 0,06		
I447,3	3,7 ± 0,4	0,6 ± 0,2	
I462,3	0,36 ± 0,18		
I505,0	2,0 ± 0,2	0,25 ± 0,05	0,06 ± 0,03
I523,1 [±]	0,25 ± 0,05	0,03 ± 0,015	
I528,6 [±]	0,05 ± 0,025		
I542,1 [±]	0,03 ± 0,015		
I576,4 [±]	0,05 ± 0,025		
I591,7 [±]	0,4 ± 0,1	0,05 ± 0,025	
I607,4	0,3 ± 0,1		
I623,1	0,95 ± 0,2	0,13 ± 0,04	0,03 ± 0,015
I628,6 [±]	0,1 ± 0,03		
I653,2 [±]	0,6 ± 0,12	0,1 ± 0,05	0,04 ± 0,02
I704,3 [±]	0,035 ± 0,02		
I721,4 [±]	0,03 ± 0,015		
I731,8 [±]	0,05 ± 0,025		
I737,3 [±]	0,05 ± 0,025		
I784,3 [±]	0,09 ± 0,045		
I814,4 [±]	0,15 ± 0,05		
I824,8	0,12 ± 0,06		
I837,4	0,43 ± 0,09	0,08 ± 0,04	
I868,2	4,6 ± 0,5	0,6 ± 0,12	0,3 ± 0,06
I895,7	1,3 ± 0,13	0,2 ± 0,04	0,1
I908,5 [±]	0,5 ± 0,1	0,1	
I967,0 [±]	0,1 ± 0,03		
I980,0 [±]	0,06 ± 0,03		

I	2	3	4
1986,7*	0,04 ± 0,02		
2008,0*	0,1 ± 0,04		
2052,9 ± 2,0	15,3 ± 1,5	2,6 ± 0,3	0,5 ± 0,1
2080,1	7,0 ± 0,7	1,0 ± 0,2	0,3 ± 0,15
2093,2	1,6 ± 0,3	0,2 ± 0,1	0,05 ± 0,025
2162,4*	0,01 ± 0,005		
2177,3*	0,05 ± 0,025	0,005 ± 0,003	
2184,8*	0,02 ± 0,01		
2192,4*	0,08 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,007 ± 0,004
2202,5*	0,03 ± 0,015		
2210,8*	0,04 ± 0,02	0,01 ± 0,005	
2298,8*	0,025 ± 0,012		
2303,1*	0,02 ± 0,01		
2313,1*	0,025 ± 0,012		
2378,9*	0,02 ± 0,01		
2384,5*	0,008 ± 0,004		
2396,3*	0,025 ± 0,012	0,007 ± 0,004	
2425,5*	0,02 ± 0,01		
2464,5*	0,03 ± 0,015	0,006 ± 0,003	
2519,9*	0,01 ± 0,005		
2562,8*	0,02 ± 0,01		
2600,8*	0,03 ± 0,015		
2648,6*	0,01 ± 0,005		
2681,4*	0,03 ± 0,015		
2741,1*	0,01 ± 0,005		
2782,6*	0,007 ± 0,003		

- Примечание: 1. Ошибки в определении энергии приведены для тех линий ^{166}Tl , которые измерены одновременно с линиями $\text{Tl}(B+C)$.
Ошибки в определении остальных линий - 0,1%.
2. *) - переходы, обнаруженные впервые в настоящей работе.

переходов распаду ^{166}Th было ошибочным. Основанием для такого заключения является тот факт, что мы обнаружили ряд новых не наблюдавшихся ранее слабых γ -переходов. Это заключение особенно подтверждается в области энергий больше 1 Мэв, где использование бесфонового спектрометра с двухкратной фокусировкой позволило нам обнаружить линии конверсионных электронов с интенсивностью более чем в 100 раз меньшей самых слабых ранее наблюдавшихся.

В работе Жилича ^{/28/} при изучении спектра конверсионных электронов с помощью светосильного ($\approx 10\%$) β -спектрометра типа "апельсин", а также опытов по $e-\gamma$ -совпадениям наблюдались очень слабые γ -переходы с энергиями 372, 488, 537, 557, 583, 617, 632 и, возможно, 655 кэв. Переходы такой малой интенсивности с помощью β -спектрографа мы обнаружить не могли.

Б. Полученные значения энергии ранее известных γ -переходов в пределах ошибок совпадают с более ранними измерениями ^{/1,5,6,11,14/}. Навлучшее согласие наблюдается с данными Григорьева и др. ^{/11,14/}. Однако в области энергий меньше 1 Мэв значения энергий в работе ^{/14/} заметно завышены. Мы считаем полученные нами значения энергии γ -переходов наиболее точными. Это подтверждается прекрасным совпадением значений энергий уровней ^{166}Er , вычисленных нами из значений энергий γ -переходов (см. ниже).

В. Относительные интенсивности ранее известных линий конверсионных электронов в пределах ошибок эксперимента совпадают с относительными интенсивностями, полученными в более ранних работах.

3. И с с л е д о в а н и е с п е к т р а γ -л у ч е й

Спектр γ -лучей измерен с помощью γ -спектрометра с Ge(Li) -полупроводниковым детектором и 2048-канальным анализатором. Были использованы два детектора производства Института физики твердого тела Чехословацкой академии наук. Один из них - плоскопараллельный размерами 6 мм x 1,5 см² имел разрешение $\approx 4,0$ кэв на линиях ^{60}Co , второй - коаксиальный с чувствительным объемом 7 см³ и толщиной дрейфа 7 мм имел разрешение 6,2 кэв на линиях ^{60}Co .

ТАБЛИЦА 3

Гамма-лучи при распаде ^{166}Tl

Энергия гамма-лучей кэВ	Относит. интенсивн.	Энергия гамма-лучей кэВ	Относит. интенсивн.	Энергия гамма-лучей кэВ	Относит. интенсивн.
113	4,2	1216,3	3,1	1986,7	0,3
131	5,4	1234,9	7,3	1994,0*	0,3
184	79	1263,5	5,1	2008,0	1,1
194	5,5	1273,4	72,0	2026*	0,25
215	33	1300,8	6	2036*	0,9
404	5,1	1347,1	4,4	2052,9	100
459	13,2	1374,6	26	2080,1	35,6
594	14	1430,9	1,4	2093	9,1
599	8,0	1437,3	3,6		
672,0 } 674,6 }	45	1447,3	3,0	2128*	0,11
691,1	37	1471	0,5	2136*	0,3
		1505	4,1		
705	57	1523,1	0,75	2162,4	0,21
757,7	13	1591,7	1,1	2177,3	0,13
778,8	100	1607,4	< 0,25	2192,4	0,8
785,9	43,5	1623,1	2,2	2300	0,16
810,1	6,1	1653,2	5,3	2300	0,16
846 *	4,4	от 1704,3 } до 1824,8 }	< 0,15	2464	0,17
875,5	19			2519,9	0,14
1120,8	1,6	1837,4	2,7	2562,8	0,05
1152,4	5,5	1868,2	21	2600,8	0,27
1161,4	1,7	1895,7	4,1		
1176,6	42	1908,5	2,6		
1200,6 } 1203,5 }	5,1	1980,0	0,7		

* - Гамма-лучи обнаруженные впервые в этих измерениях.

Полученные данные о спектре γ -лучей ^{166}Tm представлены в таблице 3. На рисунке 1 показаны некоторые участки спектра γ -лучей.

Точность определения интенсивностей гамма-лучей составляет $\sim 10\%$ для интенсивных линий (более 20 единиц таблицы 3) и $\sim 50\%$ - для слабых.

4. Исследование спектров γ - γ и e - γ совпадений

Изучались спектры двойных и суммарных совпадений γ -лучей, возникающих при распаде ^{166}Tm , а также отдельные спектры e - γ совпадений (при установке электронного канала на линии L-80,6; K-184,4; K-184,8; K-215 кэв)

В этих экспериментах были использованы гамма-спектрометр с кристаллом $\text{NaJ}(\text{Tl})$ и разрешением 8-10% и магнитно-линзовый бета-спектрометр с разрешением 2%. Полученные результаты хорошо согласуются с данными, полученными Жиличем и др. ^{/28/} при исследовании спектров e - γ совпадений с помощью шестизазорного бета-спектрометра института им. Нильса Бора ($R = 1\%$, $T \approx 10\%$). Мы считаем, однако, необходимым обратить внимание на один факт, о котором в работе ^{/28/} не сообщалось. При исследовании спектров γ - γ и e - γ совпадений мы наблюдали совпадения γ -лучей и конверсионных электронов перехода с энергией 184,4 кэв с γ -лучами с энергией около 2100 кэв. Указание на этот факт имелось и раньше в работе ^{/13/}.

5. Определение мультипольности переходов

Используя данные таблиц 1,2,3, можно определить мультипольности ряда γ -переходов, возникающих при распаде ^{166}Tm . В таблице 4 представлены результаты сравнения экспериментальных отношений интенсивностей конверсионных K , L_I , L_{II} и L_{III} -линий с ожидаемыми теоретическими для разных мультиполей. Данные о переходах 73,5; 80,6; 96,8 и 184,4 кэв в таблицу не включены, так как их мультипольности ($E2$) были определены в более ранних работах. Наши данные хорошо согласуются и подтверждают этот вывод. В таблице 5 определенные нами значения коэффициентов внутренней конверсии на K-оболочке для γ -переходов сравниваются с теоретическими значениями. Точность определения экспериментальных величин отношения интенсивностей конверсионных линий, приведенных в таблице 4, 20-30%. Погрешность в определении экспериментальной величины a_k указана в таблице 5. Теоретические значения коэффициентов внутренней конверсии на K и L-оболочках получены из таблиц Слива и Банд ^{/29/}. Как видно из таблиц 4 и 5, удается определить характер значительного числа переходов, возникающих при распаде ^{166}Tm .

Т А Б Л И Ц А 4

166 Бг
 Определение мультитипности гамма-переходов, происходящих в ядре 68

ПО ОТНОШЕНИЮ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ КОНВЕРСИОННЫХ ЛИНИЙ

Eγ кэВ	Выбран. отношен.	Эксперим. величина отношения	Теоретические значения				M2	M3	Заключение о мультитипности
			E1	E2	E3	M1			
84,15	K : L _I	~7,2	9,75	10,39	3,80	7,21	4,20	1,70	M
	L _I : L _{II}	>9,2	3,55	0,10	0,02	11,24	8,82		
112,75	L _I : L _{II}	~2,0	4,40	0,20	0,038	11,42	8,32	5,76	M (80%) +
	L _{II} : L _{III}	~1,2	0,85	1,06	1,23	6,74	0,64	0,19	+ E2 (20%)
154,45	K : L _I	7,6	9,00	9,68	8,14	7,21	5,26	3,41	
	L _I : L _{II}	5,2	5,51	0,36	0,07	11,64	7,86	5,63	M + E2 (~15%)
	L _{II} : L _{III}	1,7	0,89	1,21	1,42	6,92	0,93	0,30	
170,35	K : L _I	8,8	8,90	9,50	8,10	7,21	5,38	3,66	
	L _I : L _{II}	0,37	5,94	0,40	0,09	11,68	7,90	5,58	E2 +
	L _{II} : L _{III}	1,2	0,90	1,27	1,49	6,98	1,02	0,34	(M < 20%)
194,80	K : L _I	6,6	8,76	9,26	8,07	7,21	5,55	3,95	
	L _I : L _{II}	10,7	6,58	0,50	0,10	11,73	7,94	5,54	M
	L _{II} : L _{III}	7,0	0,90	1,36	1,59	7,10	1,17	0,38	
215,20	K : L _I	8,0	8,66	9,09	7,98	7,21	5,67	4,26	
	L _I : L _{II}	6,5	7,03	0,64	0,16	11,89	7,97	5,48	E1
	L _{II} : L _{III}	0,8	0,92	1,40	1,67	7,12	1,31	0,47	
280,3	K : L _I	7,4	8,43	8,63	7,69	7,21	5,98	4,83	
	L _I : L _{II}	0,92	8,32	1,00	0,28	12,42	8,02	5,48	E2 +
	L _{II} : L _{III}	1,3	0,95	1,52	1,95	7,12	1,82	0,68	(M < 20%)

ТАБЛИЦА 5

Коэффициенты внутренней конверсии на К-оболочке.
 Определение мультипольности гамма-переходов

Энергия гамма-пере- хода	$\alpha_{K} \times 10^8$				Заключение о мульти- польности
	Эксперим. значение	Теоретическое значение			
		E1	E2	M1	
1	2	3	4	5	6
184,4	170 ± 40	53	220	430	E2
194,8	300 ± 90	48	190	370	M1 ; E2
215,2	24 ± 10	37	150	290	E1
403,9	34 ± 10	8,0	23	52	E2 + M1
459,6	37 ± 8	5,8	16	37	M1
594,3	8,4 ± 2,0	3,4	9,4	20	E2
598,7	4,4 ± 1,5	3,3	9,2	19	E1
672,0	2,1 ± 0,5	2,6	6,8	14	E1
674,6					E1
691,1	5,6 ± 1,0	2,5	6,4	13,5	E2
705,3	6,0 ± 1,0	2,3	6,1	13	E2
757,7	9,2 ± 2,0	2,0	5,4	10,5	M1
778,8	4,0 ± 0,7	1,9	5,0	10,0	E2
785,9	4,8	-	4,8	-	E2
810,1	4,3 ± 1,1	1,75	4,4	8,9	E2
875,5	3,6 ± 0,4	1,55	3,8	7,4	E2
1120,8	~ 1 + 2	1,0	2,2	4,0	E1, E2
1152,3	4,9 ± 1,0	0,95	2,1	3,7	M1
1161,4	2,3 ± 0,8	0,95	2,1	3,7	E2
1176,5	3,9 ± 0,2	0,90	2,0	3,6	M1
1200,6	4,4 ± 1,2	0,88	1,95	3,4	M1
1203,9					M1
1216,3	1,1 ± 0,4	0,85	1,9	3,3	E1
1235,3	0,85 ± 0,5	0,88	1,85	3,3	E1
1263,2	2,1 ± 1,3	0,80	1,80	3,2	(E2 + M1)
1273,4	3,0 ± 0,3	0,78	1,70	3,0	M1
1300,8	3,3 ± 0,4	0,76	1,65	2,9	M1
1347,0	3,1 ± 0,4	0,70	1,5	2,6	M1
1374,3	2,5 ± 0,3	0,69	1,5	2,5	M1
1430,9	6	0,63	1,4	2,3	> M2
1447,3	5,4 ± 1,5	0,62	1,35	2,2	> M2
1505,0	2,2 ± 0,3	0,57	1,30	2,1	M1
1523,1	1,5 ± 0,4	0,56	1,30	2,1	E2, M1
1591,7	1,6 ± 0,5	0,51	1,15	1,8	E2, M1
1607,4	> 5	0,50	1,15	1,7	> M2
1623,1	1,9 ± 0,5	0,49	1,10	1,7	M1

1	2	3	4	5	6
1653,2	$0,5 \pm 0,2$	0,45	1,10	1,60	E1
1837,4	$0,7 \pm 0,2$	0,40	0,88	1,22	E2(E1 + M2)
1868,2	$1,0 \pm 0,3$	0,39	0,85	1,2	M1, E2
1895,7	$1,4 \pm 0,3$	0,38	0,83	1,15	M1, E2
1908,5	$0,85 \pm 0,2$	0,38	0,82	1,10	E2, M1
1980,0	$\sim 0,4 \pm 0,6$	0,36	0,77	1,05	E1, E2
1986,7	$0,57 \pm 0,3$	0,36	0,76	1,05	E1, E2
2008	$0,4 \pm 0,2$	0,35	0,74	1,00	E1
2052,9	$0,68 \pm 0,10$	0,34	0,73	0,96	E2 + M1
2080,1	$0,87 \pm 0,15$	0,33	0,71	0,94	M1 + E2
2093,2	$0,76 \pm 0,25$	0,33	0,70	0,93	M1 + E2
2162,4	$0,2 \pm 0,1$	0,31	0,65	0,86	E1
2177,3	$1,7 \pm 0,8$	0,30	0,64	0,84	не E1
2192,4	$0,45 \pm 0,2$	0,30	0,63	0,82	E1, E2
2298,8 } 2303,1 }	$0,8 \pm 0,4$	0,28	0,58	0,74	не E1
2464,5	$0,8 \pm 0,4$	0,27	0,55	0,70	M1, E2
2519,9	$0,3 \pm 0,15$	0,24	0,50	0,62	E1, E2
2562,8	$2,0 \pm 1,0$	0,24	0,49	0,59	E3, M2
2600,8	$0,5 \pm 0,25$	0,24	0,48	0,58	E1, E2, M1

Примечание: 1. Для связи единиц интенсивностей гамма-лучей и конверсионных электронов α_K для перехода 785,9 кэВ принято равным теоретическому для мультипольности E2.

2. При определении мультипольности по абсолютным значениям коэффициента внутренней конверсии на K-оболочке однозначно устанавливается только мультипольность типа E1. Для значений α_K близких к теоретическим для мультипольности M1 и E2 всегда можно подобрать такую смесь (E1 + M2), что значение α_K будет совпадать с теоретическим для M1 или E2. Поэтому указанный выбор мультипольности M1 или E2 в этой таблице является наиболее вероятной, но не единственной возможностью.

Мультипольности переходов, перечисленных в таблице 4, определены впервые. Результаты определения мультипольности переходов по абсолютному значению α_k в значительной части совпадают с аналогичными результатами Жилича и др.^{/28/}. В этой работе дополнительно к данным таблицы 5 определены мультипольности переходов 348 кэв (E_2, M_1); 530 кэв ($E_2 + M_1$); 730 кэв (E_1, E_2). В связи с тем, что нами был использован $Ge(Li)$ детектор больших, по сравнению с работой^{/28/}, размеров, нами определены интенсивности и α_k для 20 жестких гамма-переходов.

II. Схема распада ^{166}Tl

1. Основное состояние ^{166}Tl .

Спин основного состояния ^{166}Tl измерен Волкером и Харрисом^{/30/}. Он равен 2. Чётность основного состояния ^{166}Tl положительна. Это следует из результатов изучения распада ^{166}Yb в работах Григорьева и др.^{/7/} и Ясинского и др.^{/19/} и из результатов изучения позитронного распада ^{166}Tl на уровне ротационной полосы основного состояния ^{166}Er в работе Желепова и др.^{/17/}. Желепов и др., изучая совпадения позитронов с гамма-лучами ^{166}Tl , показали, что жесткая компонента позитронного спектра с $E_{gr} = 1920$ кэв^{/9,11,12} совпадает с гамма-лучами 80,6 кэв. Таким образом энергия распада ^{166}Tl равна (3020 ± 20) кэв. Галахер и Соловьев^{/31/} интерпретировали основное состояние ^{166}Tl как состояние типа $5/2^+$ /642/- р $1/2^+$ /411/.

2. С х е м а у р о в н е й ^{166}Er .

Предлагаемая нами схема уровней ^{166}Er , возбуждающихся при распаде ^{166}Tl , представлена на рис. 2. При составлении схемы уровней ^{166}Er мы исходили из следующих экспериментальных данных:

- наши результаты измерения $e-\gamma$, $\gamma-\gamma$ и суммарных совпадений,
- наши результаты измерения энергий и интенсивностей гамма-переходов,
- результаты измерения $e-\gamma$ -совпадений, полученные в работе Жилича и др.^{/28/}.

Следует подчеркнуть, что схема распада ^{166}Tu очень сложна и только использование всех перечисленных данных позволяет сделать наиболее полные выводы.

Как указано выше, еще в более ранних работах было показано, что при распаде ^{166}Tu возбуждаются уровни ротационной полосы основного состояния 80,8 кэв (02^+); 265,0 кэв (04^+) и 545,3 кэв (06^+); уровни ротационной полосы γ -вибрационного состояния 785,9 кэв (22^+); 858,4 кэв (23^+); 956,2 кэв (24^+) и 1075,1 ($2,5^+$) и уровни с энергиями 2133,0 и 2160,3 кэв, которым приписывался спин 3. Полученные результаты хорошо подтверждают существование этих уровней. Интересно отметить, что энергии этих уровней, вычисленные по суммам энергий разных γ -переходов, очень хорошо совпадают между собой. Приведем значения энергий некоторых уровней вместе со средними ошибками их определения:

(956,20 \pm 0,04) кэв (0,004%; 5),

(1075,10 \pm 0,03) кэв (0,003%; 3),

(2133,0 \pm 0,3) кэв (0,014%; 13),

(2160,3 \pm 0,25) кэв (0,012%; 7).

В скобках указаны: относительная величина ошибки в % и число сумм, из которых получено данное значение энергии уровня. Такие результаты позволили нам потребовать при введении уровней согласия в суммах энергий переходов не хуже 0,03 %.

Наши результаты изучения γ - γ -совпадений, результаты изучения спектров совпадений при суммировании и результаты e - γ -совпадений позволяют ввести уровни с энергиями 1458,0, 1918, 1938,3 кэв. Более полные данные о совпадениях γ -переходов при распаде ^{166}Tu получены в работе Жилича и др. /28/ Жилич и др. изучали e - γ совпадения, используя для регистрации конверсионных электронов светосильный ($\sim 10\%$) спектрометр типа "апельсин" и для регистрации γ -лучей свинтилляционный γ -спектрометр. В этих исследованиях надежно установлено, что при распаде ^{166}Tu возбуждаются уровни ^{166}Fr с энергиями 1458,0; 1515,3 ; 1918,0; 1938,3; 1978,8; 2002; 2215 и 2290 кэв. Имеются также указания на возбуждение уровней с энергиями 1528,2; 1571,8 и 1020,8 кэв. Указанные здесь, как и далее, значения энергий вычислены на основе наших измерений энергий γ -переходов. Существование всех указанных уровней подтверждается хорошим совпа-

дением сумм энергий γ -переходов. Предлагаемая схема уровней ^{166}Er (рис. 2) в основном совпадает со схемой, предложенной в работе ^{/28/}. На основе более точных определений энергий гамма-переходов в схеме размещен ряд новых γ -переходов. Энергии нескольких переходов, размещенных в схеме ^{/28/}, оказались существенно отличающимися от разности энергий уровней, и поэтому они в схему не включены. Используя экспериментальные данные о мультипольности γ -переходов, можно утверждать, что уровень 1458,0 кэв типа 2^- или 3^- , уровень 1918,0 кэв - типа 3^- , уровень 1938,8 кэв - 2^- или 3^+ , уровень 1978,8 - типа $2,3$ или 4^+ и уровни 2002,0 кэв и 2020,8 кэв - 2^- или 3^- . Уровень 2215 кэв имеет отрицательную четность и возможные значения спина 1,2 или 3. Уровень с энергией 2290,9 кэв имеет положительную четность; возможные значения спина 2 или 3. Суммы энергий γ -переходов позволяют также предположительно ввести уровень с энергией 1622,9 кэв. Мы не видим достаточных экспериментальных оснований для утверждений, что при распаде ^{166}Tm возбуждаются уровни с энергиями 1590 и 1687 кэв ^{/28/}. Наблюдавшиеся нами совпадения между γ -лучами с энергией 184 кэв и ~2100 кэв свидетельствуют о возбуждении уровня с энергией около 2400 кэв. Однако указать точно энергию этого уровня мы пока не можем, так мы не можем указать точно, с каким из гамма-переходов в области 2100 - 2150 кэв мы наблюдали совпадения. Оценки интенсивности совпадений показывают, что эти совпадения не связаны с гамма-переходом 2093 кэв. В этом случае совпадения должны быть в несколько раз сильнее. Вероятно, это совпадения с одним из гамма-переходов с энергией 2162, 2177 или 2184 кэв.

Уровни ротационной полосы основного состояния и
 γ -вибрационной полосы

Измерение мультипольности большинства γ -переходов между уровнями этих полос подтверждает приписанные этим уровням ранее квантовые характеристики. Свойства уровней этих полос были проанализированы в обзоре Б.С.Джеллепова ^{/32/} и в работе Галахера и др. ^{/33/}. В работе ^{/33/} при анализе использованы новые данные о распаде долгоживущего изомера ^{166}Ho , где рассматри-

ваемые ротационные полосы развиваются очень высоко (до $l = 8$), и сведения о свойствах уровней этих полос получены более полные. Мы считаем необходимым, однако, привести значения параметров A, B, C в формуле для энергии вращательных уровней

$$E_l = E_0 + A [l(l+1) - K(K+1)] + B [l^2(l+1)^2 - K^2(K+1)^2] + C [l^3(l+1)^3 - K^3(K+1)^3],$$

определенные на основе наших измерений энергий (табл. 6). Сравнение их со значениями Галахера и др.^{/33/} показывает, что параметры A, B, C для полосы основного состояния практически совпадают. Однако параметры B и C для γ -вибрационной полосы различаются существенно. Хотя мы вычисляли A, B, C , используя измеренные нами значения энергии уровней типа $(2,2+)$, $(2,3+)$, $(2,4+)$ и $(2,5+)$, энергии уровней со спинами 6 и 7, подсчитанные с использованием наших значений параметров A, B, C , совпадают с измеренными в^{/34/} энергиями этих уровней. Галахер и др.^{/32/} считают, что энергии уровней γ -вибрационной полосы ^{166}Er не могут быть описаны без использования члена $l^3(l+1)^3$ ($C \neq 0$). По-нашему мнению, точность имеющихся экспериментальных данных недостаточна, чтобы утверждать, что $C \neq 0$.

Таблица 6

Параметры A, B, C в формуле для энергии вращательных уровней основного и γ -вибрационного состояния ^{166}Er

	Н а ш и д а н н ы е			Данные Галахера и др.		
	A (кэв)	B (эв)	C (эв)	A (кэв)	B (эв)	C (эв)
Полоса основного состояния	13,51±0,01	-(13,7 ± 1,0)	0,025 ± 0,019	-12,5		0,02
Гамма-вибрационная полоса	12,41 ± 0,08	-(17,82 ± 5,3)	-(0,064 ± 0,104)	12,6	-19,5	+ 0,10

Спины и чётность высоких (> 1300 кэв) уровней ^{166}Er

Определение мультипольности значительного числа γ -переходов, возникающих при распаде ^{166}Tm , дает экспериментальные основания для установ-

ления квантовых характеристик уровней ^{166}Fr . Однако только для 2 или 3 уровней это удается сделать однозначно. Для ряда уровней экспериментальные данные не исключают двух или трех возможных значений спина.

Ранее делались противоречивые заключения о четности уровней 2133,0 и 2160,3 кэв. В работах Харматца и др.^{/6/} и Григорьева и др.^{/14/} был сделан вывод, что это уровни со спином 3 и отрицательной четности. Григорьев и др.^{/11/} и Прейбиш и др.^{/15/} приписывали этим уровням то же значение спина, но положительную четность. Результаты определения мультипольности гамма-переходов с уровня 2133,0 не оставляют сомнения в том, что это уровень типа 3^+ . Для уровня 2160,3 кэв спин и четность 3^+ являются наиболее вероятными, хотя нельзя исключить отрицательную четность (см. табл. 5, примечание). На основе экспериментальных данных о мультипольности γ -переходов можно утверждать, что уровень 1458,0 кэв типа 2^- , уровень 1918,0 кэв типа 3^- , уровень 1938,8 кэв - 2^+ или 3^+ , уровень 1978,8 кэв - 2^+ , 3^+ или 4^+ , уровни 2002,0 кэв и 2020,8 кэв - 2^- или 3^- . Уровень 2215,9 имеет отрицательную четность и возможные значения спина 1, 2 или 3. Уровень 2290,9 типа 2^+ или 3^+ .

Баланс интенсивностей γ -переходов при распаде ^{166}Tl представлен в таблице 7. При составлении таблицы 7 использованы данные об относительных интенсивностях γ -переходов из таблицы 3. В тех случаях, когда интенсивности γ -лучей не измерены с помощью Ge(Li) -детектора, они вычислялись из данных об интенсивностях конверсионных линий. При этом мы использовали теоретическое a_k для мультипольности перехода, которую требует предложенная нами схема.

Принималось, что распад ^{166}Tl в основное состояние ^{166}Fr не происходит: интенсивность γ -переходов в основное состояние ^{166}Fr принята за 100%. Данные таблицы позволяют определить, с какой интенсивностью происходит β -распад на уровни ^{166}Fr . В схеме распада размещено 84 гамма-перехода из 135 известных в настоящее время. Суммарная интенсивность неразмещенных γ -переходов меньше 10% распадов ^{166}Tl .

ТАБЛИЦА 7

Баланс интенсивностей гамма-переходов на уровнях
 ^{166}Er при распаде ^{166}Tm

IK^\pm	Энергия уровня кэВ	Суммарная интенсивность гамма-лучей в % на распад			$\lg f$
		Приходит на уровень	Уходит с уровня	% бета распадов на уровень	
00+	0	100	-	-	-
20+	80,6	95	99	$\sim 5^a$	7,8
40+	265,0	22,1	22,5		
60+	545,3	0,35	0,4		
22+	785,9	20,5	20,0	} $2,0^a$	7,9
32+	859,4	22,9	22,7		
42+	956,4	10,2	9,8		
52+	1075,2	0,6	1,4		
22-	1458,0	9,0	7,4	< 1	> 7,8
32-	1515,3	1,5	$\sim 1,2$	< 0,3	> 8,3
20+	1528	$\sim 0,3$	3,3	~ 3	7,9 \pm 0,1
(44-)	1571,8	$\sim 0,6$	$\sim 0,6$	< 0,3	> 8,3
33-	1918,0	6	6,9	~ 1	7,5 \pm 0,1
+	1938,3	1,5	2,1	0,6	7,7
+	1978,8	0,15	0,5	0,3	7,9
-	2002	0,2	1,8	1,6	7,2
-	2020,8		3,0	2,0	7,0
33+	2133,0	64	64	64	5,50 \pm 0,05
33+	2160,3		17	17	6,10 \pm 0,05
-	2215,7		~ 3	~ 3	6,8 \pm 0,3
+	2290,9		~ 3	~ 3	6,7 \pm 0,3
II-	1663		< 0,2	< 0,2	$\geq 8,3$
II-	1826		< 0,1	< 0,04	$\geq 9,0$

а) Интенсивность бета-распада на эти уровни определена на основании результатов измерения позитронов ^{166}Tm /9,11,12,17/.

В последней колонке таблицы представлены значения $\log ft$ для β -распада на уровни ^{166}Fr . В конце таблицы приведены оценки интенсивности заселения возбужденных уровней 1663(1-) и 1826 кэв (1-), известных из распада ^{166}Po (27 час.) и предела $\log ft$ для β -распада ^{166}Tl на эти уровни.

Интерпретация высоких (> 1,3 Мэв) уровней возбуждения ^{166}Fr на основе имеющейся информации о распаде ^{166}Tl и изомеров ^{166}Po представляет значительный интерес. На рис. 3 представлены имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные о высоких возбужденных уровнях ^{166}Fr , полученных при изучении распада ^{166}Tl и изомеров ^{166}Po . Уровень с энергией 1460 кэв типа 0+ наблюдался при распаде изомера $^{166}\text{Po}(0^-)$ /34,35,36/. Этот уровень интерпретирован /31,37/ как коллективное состояние. При распаде ^{166}Tl он не возбуждается. Наблюдаемый при распаде ^{166}Tl уровень 1528 кэв, вероятно, является первым ротационным состоянием уровня 1460 кэв. Переход с энергией 1447 кэв с уровня 1528 кэв (2+0) ротационной полосы основного состояния имеет аномально высокое значение a_k (табл. 5). Возможно, это связано с заметной примесью мультипольности типа Е0 к этому переходу. Возбуждающийся при распаде изомера $^{166}\text{Po}(0^-)$ уровень 1660 кэв типа 1-, вероятно, можно интерпретировать как октупольное состояние с $K = 0$. При распаде ^{166}Tl этот уровень не возбуждается: верхний предел значения $\log ft$ для β -распада на этот уровень 8,3.

Рич и Кляйн /38/ при исследовании распада изомера $^{166}\text{Po}(7^-)$ наблюдали уровень типа 6- с энергией 1784 кэв (рис. 3). Отношения интенсивностей гамма-переходов с этого уровня на уровни γ -вибрационной полосы хорошо согласуются с предположением, что этот уровень имеет $K = 2$. Рич и Кляйн предполагают, что этот уровень может быть ротационным типа $K1 \pi=2^-$ октупольного колебательного состояния с $K = 2$. Жилич и др. /28/ считают, что уровень 1458 кэв, возбуждающийся при распаде ^{166}Tl , является основным состоянием этой вращательной полосы, включающей в себя уровни 1515 кэв (2,3-), 1590 кэв (2,4-) и 1784 кэв (2,6-). Сильным аргументом в пользу такой интерпретации является то, что Бёрк и Рич (частное сообщение в работе /28/), изучая спектр тритонов в реакции $^{166}\text{Fr}(d,t)^{166}\text{Fr}$, наблюдали уровни этой ротационной полосы; 1460, 1515, и 1590 кэв.

Согласно расчётам Пятова и Соловьёва /39/, самые низкие двухквантовые уровни типа $\nu_1 633\frac{1}{2} \pm \nu_2 523\frac{1}{2}$ (типа $\nu_1 + \nu_2 = 6^-$ и $\nu_1 - \nu_2 = 1^-$)

должны осуществляться при энергии около 1,7 Мэв. Уровень этой природы типа 1- наблюдается при распаде изомера $^{186}\text{Po}(0^-)$ при энергии 1825 кэв^{/34, 35,36/}. Рич и Кляйн^{/38/} предполагают, что уровень типа 6^- заселяется при распаде долгоживущего изомера $^{186}\text{Po}(7^-)$ и также имеет энергию около 1825 кэв. Бета-распад ^{186}Tl на эти уровни сильно запрещен: на уровень типа 6^- из-за большой разности спинов; на уровень типа 1^- из-за F-запрета^{/31/}. Наши оценки $\log ft$ для бета-распада ^{186}Tl на уровень 1825 кэв типа 1^- показали (таблица 7), что F-запрет сильно задерживает этот переход: бета-переход первого порядка запрещения ($2^+ \rightarrow 1^-$) имеет значение $\log ft$ больше девяти.

Уровень с энергией 1571,8 кэв, по-видимому, следует интерпретировать как двухквазипротонный типа $p_1 523\uparrow + p_2 411\uparrow$. Экспериментальные данные не противоречат приписанию тому уровню ожидаемых при этой интерпретации квантовых характеристик $1K^\pi = 44^-$. Можно привести следующие аргументы в пользу такой интерпретации. По расчётам^{/39/} этот уровень ожидается при энергии, несколько большей 1,3 Мэв. Других двухквазичастичных уровней при энергии около 1,6 Мэв не ожидается. В соседних ядрах ^{163}Er и ^{163}Fr с тем же числом протонов ($z^+ = 68$) идентифицированы нижние состояния трехквазичастичного мультиплета, включающего в себя рассматриваемое двухквазичастичное состояние. Их энергии 1430 кэв в ^{163}Er ^{/40/} и 1540 кэв в ^{163}Fr ^{/41/}.

Измеренный нами предел значения $\log t$ для бета-распада на уровень 1571,8 кэв ($> 8,3$, табл. 7) согласуется с ожидаемым Δ -запрещенным характером этого перехода. Жилич и др.^{/28/} предполагают, что наблюдавшиеся Ричем и Кляйном при распаде $^{186}\text{Po}(7^-)$ уровни с энергиями 1688 и 1825 кэв являются ротационными уровнями, основанными на состоянии 1571,8 кэв со спинами 5 и 6, соответственно.

Интерпретация более высоких уровней с отрицательной чётностью, возбуждающихся при распаде ^{186}Tl затруднительна и неоднозначна. Нам представляется более вероятной следующая интерпретация:

Уровень 1918,0 кэв $1K^\pi = 33^-$ $p_1 523\uparrow - p_2 411\uparrow$

Уровень 2002,0 кэв $1K^\pi = 33^-$ $p_1 642\uparrow + p_2 521\uparrow$

Уровень 2020,8 кэв $1K^\pi = 22^-$ $p_1 411\uparrow - p_2 523\uparrow$

Уровень 2215,8 кэв $1K^\pi = 22^-$ $p_1 642\uparrow - p_2 521\uparrow$.

Но и против этой интерпретации могут быть выдвинуты некоторые возражения. Например, бета-распад из основного состояния $^{166}\text{Tm} - p\ 411\frac{1}{2} - n\ 642\frac{1}{2}$ в состояние ^{166}Er типа $\pi_1\ 642\frac{1}{2} - \pi_2\ 521\frac{1}{2}$ должен иметь характер разрешенного, задержанного. Аналогичный бета-переход ($p\ 411\frac{1}{2} - n\ 521\frac{1}{2}$) в соседних ядрах ^{166}Tm и ^{168}Tm имеет значение $\log ft = 6,3$. При бета-распаде ^{166}Tm на уровни отрицательной четности мы не наблюдали таких низких значений $\log ft$. Это может свидетельствовать о том, что при таких высоких энергиях возбуждения уровни сильно смешаны, что и приводит к завышению значений $\log ft$. О наличии примесей к рассматриваемым двухквaziчастичным состояниям могут также свидетельствовать наблюдавшиеся экспериментально γ -переходы между этими состояниями. В модели независимых частиц эти переходы запрещены.

Среди высоких возбужденных состояний с положительной четностью выделяется уровень с энергией 2133,0 кэВ. На этот уровень происходит 64% всех распадов ^{166}Tm . Значение $\log ft$ для бета-распада на этот уровень равно $5,50 \pm 0,05$. Очевидно, нет иной возможности объяснить столь низкое значение иначе, чем это было сделано Прейбишем и Жиличем^{/43/}, а именно, что в этом уровне значительную часть (более 10%) составляет четырехквaziчастичное состояние типа $\pi_1\ 642\frac{1}{2}\ \pi_2\ 523\frac{1}{2}\ \pi_1\ 411\frac{1}{2}\ \pi_2\ 523\frac{1}{2}$ с квантовыми характеристиками $1K^{\pi} = 33^{+}$. С другой стороны, экспериментальные данные определенно свидетельствуют о том, что это состояние не чистое четырехквaziчастичное. Значение $\log ft$ существенно отличается от значения 4,8, характерного для разрешенного незадержанного бета-перехода $p\ 523\frac{1}{2} \rightarrow n\ 523\frac{1}{2}$, который объясняет значение $\log ft$ при распаде ^{166}Tm на уровень 2133,0 кэВ ^{166}Er . О наличии значительных примесей говорят также и интенсивные гамма-переходы почти на все нижележащие уровни.

Относительно низкое значение $\log ft = 6,10 \pm 0,05$ наблюдается для уровня 2160,3 кэВ, имеющегося спин 3 и, вероятно, положительную четность. Согласно^{/31,39/}, ожидается только один двухквaziчастичный уровень в ^{166}Er со спином 3+. Он образуется из двух протонных состояний $\pi_1\ 411\frac{1}{2}\ \pi_2\ 404\frac{1}{2}$. Бета-распад на этот уровень должен быть разрешенным, задержанным ($\log ft = 6,0 + 7,5$).

Экспериментальные данные не дают возможности высказаться определенно о природе других уровней положительной четности: 1938,8 кэВ (2 или 3⁺),

1978,8 кэв (2,3 или 4+) и 2215,9 кэв (1,2 или 3+). Они могут быть как двухквaziчастичными, так и коллективными.

По расчётам Соловьёва и Пятова в ^{166}Er при энергии 1,7 Мэв должен существовать уровень типа 1^+ , $p_1 411\frac{1}{2}$ $p_2 411\frac{1}{2}$. Бета-распад на этот уровень разрешенный задержанный. Аналогичный бета-переход $p 411\frac{1}{2} \rightarrow n 642\frac{1}{2}$ при распаде $^{161}\text{Tb} \rightarrow ^{161}\text{Dy}$ имеет $\log ft = 7,8$. Он может разряжаться только на уровень типа 0^+ и 2^+ ротационной полосы основного состояния и получить указания на его существование как в опытах по совпадениям так и по энергетическим суммам трудно. Имеется три случая, когда разность энергий гамма-переходов в пределах точности равна 80,6 кэв-энергии первого уровня ^{166}Er и, следовательно, имеется возможность предположить существование уровней с энергиями 1704,3; 1784,3 и 1895,7 кэв. Интенсивность заселения этих уровней не более 0,5% распадов ^{166}Tb . Таким образом, не исключено, что уровень типа 1^+ при энергии около 1,7 Мэв заселяется при распаде ^{166}Tb . $\log ft$ для распада на этот уровень не менее восьми.

В заключение можно отметить, что построенная схема распада $^{166}\text{Tb} \rightarrow ^{166}\text{Er}$ включает в себя более 90% случаев распада ^{166}Tb . В схеме распада размещено 85 из 135 известных гамма-переходов. Полученные данные о гамма-спектре и спектре конверсионных электронов показывают, что в этом распаде возбуждается много еще неизвестных уровней, при этом преимущественно в области выше 2,0 Мэв. Однако интенсивность заселения каждого из этих уровней мала (менее 1% распада). Анализ полученных данных показывает, что свойства уровней ^{166}Er удовлетворительно объясняются обобщенной и сверхтекучей моделями ядра.

Авторы глубоко благодарны персоналу синхротрона ОИЯИ и радиохимикам В.А.Халкину и Н.А.Лебедеву за изготовление прекрасных источников ^{166}Tb , В.Г.Соловьёву и Н.И.Пятову за многократные и плодотворные обсуждения полученных результатов, Б.С.Джелепову и В.П.Джелепову за интерес и содействие в работе.

Л и т е р а т у р а

1. В.Брабец, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, А.Г.Дмитриев, В.А.Морозов. Изв. АН Изв. АН СССР сер. физ. т. 23 812 (1959)
2. В.Н.Барановский, В.Н.Покровский. Изв. АН СССР сер. физ. т. 23. 819 (1959).
3. К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, В.Н.Покровский. Изв. АН СССР сер. физ. т. 23 821 (1959)
4. P. Bokema, H. de Waard. Nucl. Phys. 12. 533 (1959)
5. K.P.Jakob, T.W. Mihelich, B.Harmatz, T.H.Handley. Phys.Rev 117, 1102 (1960).
6. B. Harmatz, T.H. Handley, T.W. Mihelich. Phys. Rev 123, 1758 (1961).
7. Е.П.Григорьев, Б.С.Джелепов, А.В.Золотавин. Изв. АН СССР сер. физ. 23, 188 (1959)
8. R.C.Wilson, M.L.Pool. Phys. Rev 119 262 (1960).
- ✓9. Н.А.Бонч-Осмоловская, Б.С.Джелепов, О.Е.Крафт. Изв. АН СССР сер. физ. 24. 283 (1960)
10. E.Bozek, H.Niewodniczanski, S.Ogaza, S.Szymczyk, Ju. Nourseev. Acta Phys Polonica 20, 257 (1961)
- ✓11. Е.П.Григорьев, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Ж.Т.Желев, В.Звольска, И.Звольский. Изв. АН СССР сер. физ. 25. 1217. (1961)
- ✓12. J.Zylicz, Ju. Nourseev, Z.Preibisz.. Acta Phys Polonica 20, 321 (1961)
- 13.Е.П.Григорьев, Б.Н.Карпов, В.О.Сергеев. Материалы IУ совещания по нейтрондефицитным изотопам. Преприят ОИЯИ-959 Дубна (1962)
14. Е.П.Григорьев, Б.П.Перегуд, В.О.Сергеев, В.И.Скопина. Изв. АН СССР сер. физ, 26. 1488 (1962)
15. Z. Preibisz, K. Pawlak, K. Skryczniewicz. Bull. de L'Academie Polonica des Sciences 1, N 11., 691 (1962)
16. А.А.Абдумаликов, А.А.Абдуразаков, В.Гнатович, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов. Программа и тезисы XIV совещания по ядерной спектроскопии в Тбилиси изд. Наука 1964 стр. 61.
- ✓17. Б.С.Джелепов, В.З.Кауфман, О.Е.Крафт, Ю.В.Наумов. Изв. АН СССР сер. физ. 28 1079 (1965)

18. Б.К.Преображенский, В.А.Калямин, О.М.Лилова, А.Н.Добронравова, Е.Д.Террин. Журнал аналитический химии 1. 10. 1094. (1966).
19. A. Jasinski, J. Kownacki, H. Lancman, H. Ludziejewski, S. Choinacki, I. Jutlandov. Nucl Phys 41, 303 (1963). Y6
20. А.Ф.Новгородов, В.Л.Кочетков, Н.А.Лебедев, В.А.Халкин. Радиохимия, том 6, 73 (1964).
21. А.А.Абдуразаков, Ф.М.Абдуразакова, К.Я.Громов, Б.С.Джелепов, Г.Я.Умаров. Изв. АН Уз. ССР сер. физ-мат наук №3 стр. 53 (1961).
22. А.А.Абдумаликов, А.А.Абдуразаков, Ф.М.Абдуразакова, К.Я.Громов, Г.Я.Умаров. Изв. АН Уз. ССР сер. физ-мат. наук №1 стр. 37 (1962).
23. E. Hatch, P. Marnier, F. Boehm, T. Du-Mond. Phys Rev 104, 745 (1956).
24. G. T. Ewan, K. L. Graham, T. S. Geiger. Nucl Phys 22, 610 (1961).
25. С.А.Шестопалова Изв. АН СССР сер. физ. 25, 1302 (1961)
26. U. Adam, V. Chumin, Ya. Denisov, M. Finger, K. Gromov, M. Kuznetsova, Lu. Si-tin. Preprint JINR E-2494, Dubna 1965.
27. G. Ewan, K. Graham. Experiments on Internal Conversion and Transition Rates. "Alpha, Beta and Gamma-ray Spectroscopy" edited by K. Siegbahn Amsterdam (1963).
28. J. Zylicz, M.H. Jorgensen, O.B. Nielsen, O. Skilbreid. Nucl. Phys 81 (1966) 88.
29. Л.А.Слив, И.М. Банд. Таблицы α_K и α_L в книге "Гамма-лучи" под редакцией Л.А.Слива стр. 318 Изд. АН СССР 1961 г.
30. J.C. Walker, D.L. Harris. Phys Rev 121, 224 (1961).
31. C.J. Gallagher, V.G. Soloviev. Mat. Fys. Skr. Dan Vid Selsk 2 No 2 (1962).
32. Б.С.Джелепов. Лекции на летней школе физиков в Телави, в книге "Структура сложных ядер" Атомиздат, Москва 1966 г.
33. C. J. Gallagher, O.N. Nielsen, A.W. Sanyal. Phys Lett 16, 298 (1965).
34. P. G. Hansen, K. Wilsky, M. Horen, Lung Wen Chiao. Nucl Phys 24, 519 (1961).

35. J. Funke, K. Hohnuth, H. Jungclausen, K. Kaup, G. Müller, H. Sodan, L. Werner. *Kernenergie* 6, 152 (1963)
36. J.F. Cline, F.C. Gates, F.H. Turk. *Nucl Phys* 30, 154 (1962)
37. В.Г.Соловьев. Препринт ОИЯИ Р-1811 (1964) и Р-1973 (1965)
38. C.W. Reich, J.F. Cline. *Phys Rev* 137, B 1424 (1965)
39. Н.И.Пятов, В.Г.Соловьев. *Изв. АН СССР сер. физ.* 28. 1617 (1964)
40. N.A. Bouch-Osmolevskaia, K. Ja. Gromov, Wang Chanu Chu. *Nucl. Phys* 81 (1966) 225
41. Я.Врзал, В.Гнатович, К.Громов, Я.Липтак, Я.Урбанец. *Изв. АН СССР сер. физ.* 31, №4, (1967)
42. Z. Preibisz, J. Zylicz. *Phys Lett* 9 (1964) 258.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 мая 1967 года.

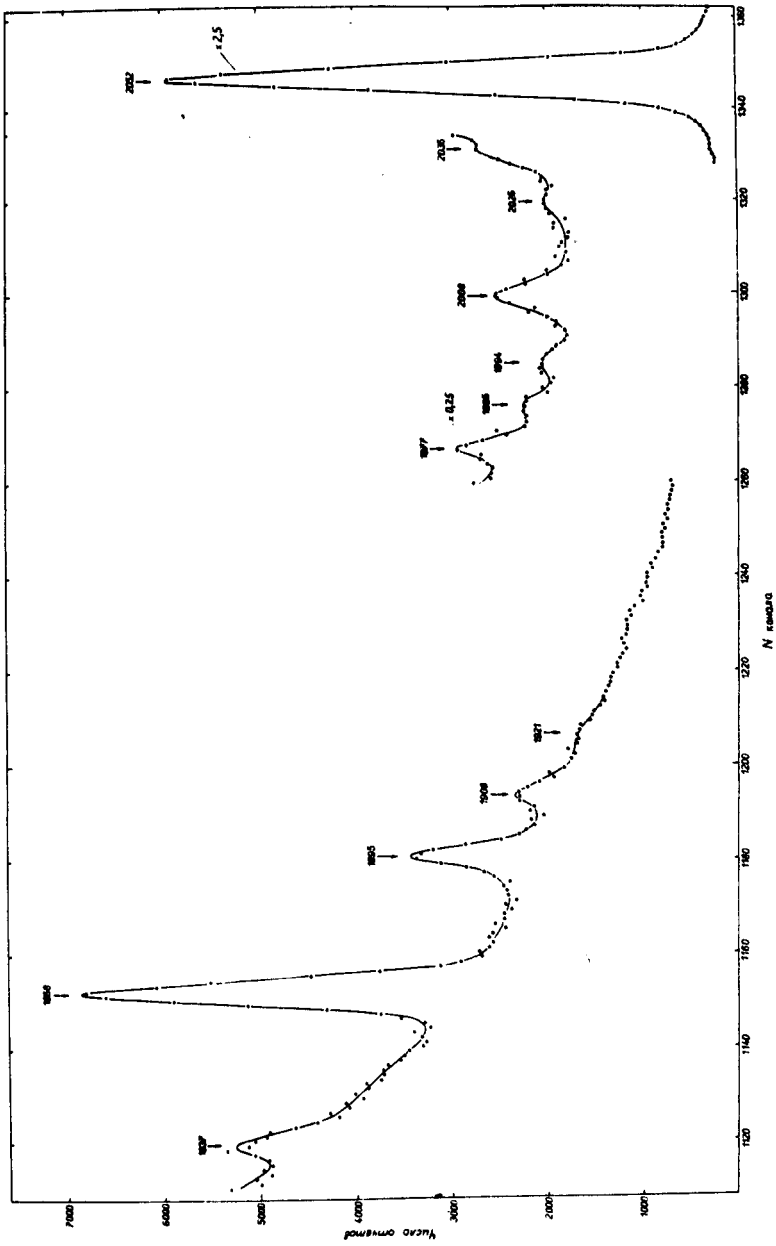


Рис. 1а. Некоторые участки спектра гамма-лучей ^{166}Tm .

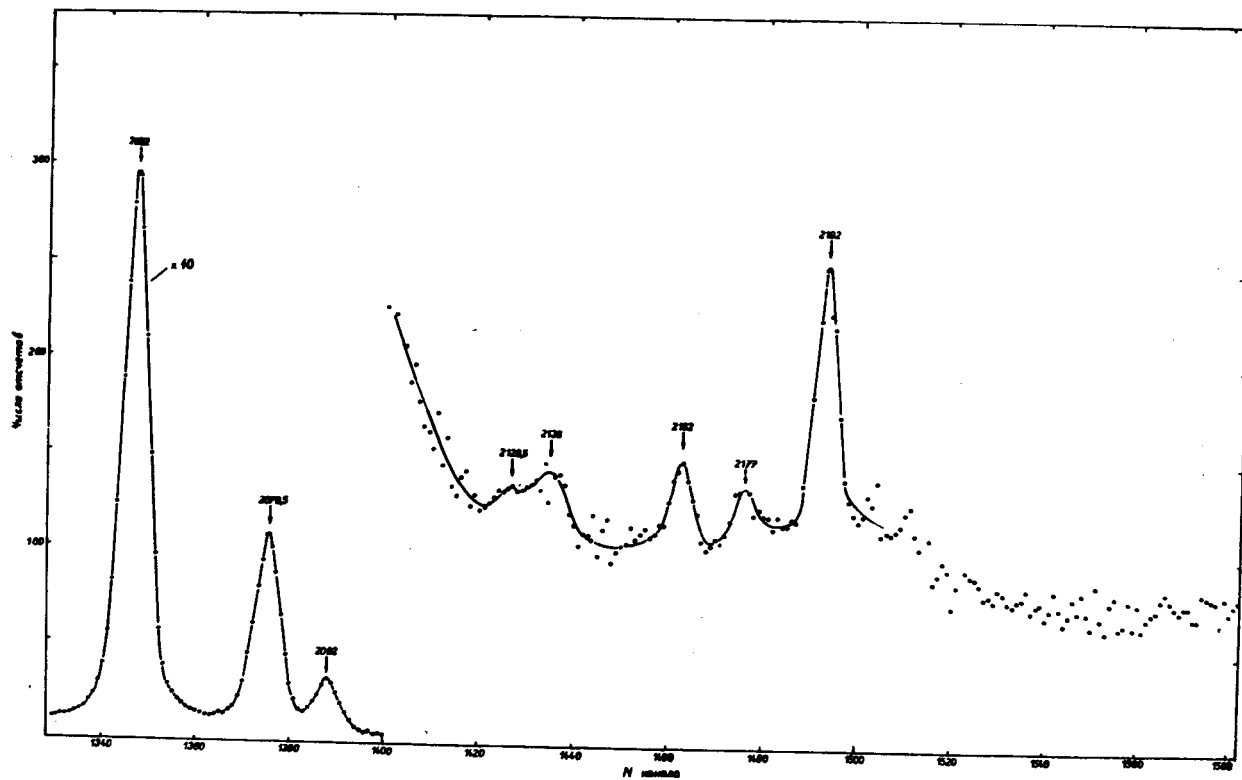


Рис. 16 Некоторые участки спектра гамма-лучей ^{166}Tl

$Q_{\text{г}} = 3035 \text{ т}$ $^{68}\text{Tu}_{92} (7.7 \text{ мес})$ 2^+

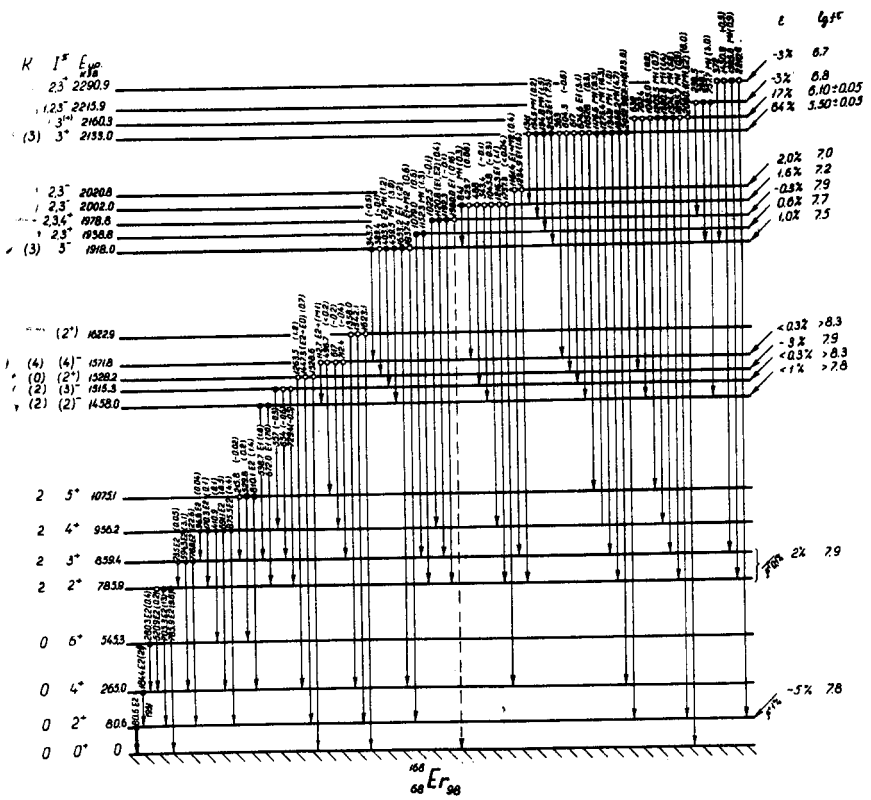


Рис. 2. Схема распада $^{68}\text{Tu}_{96}$

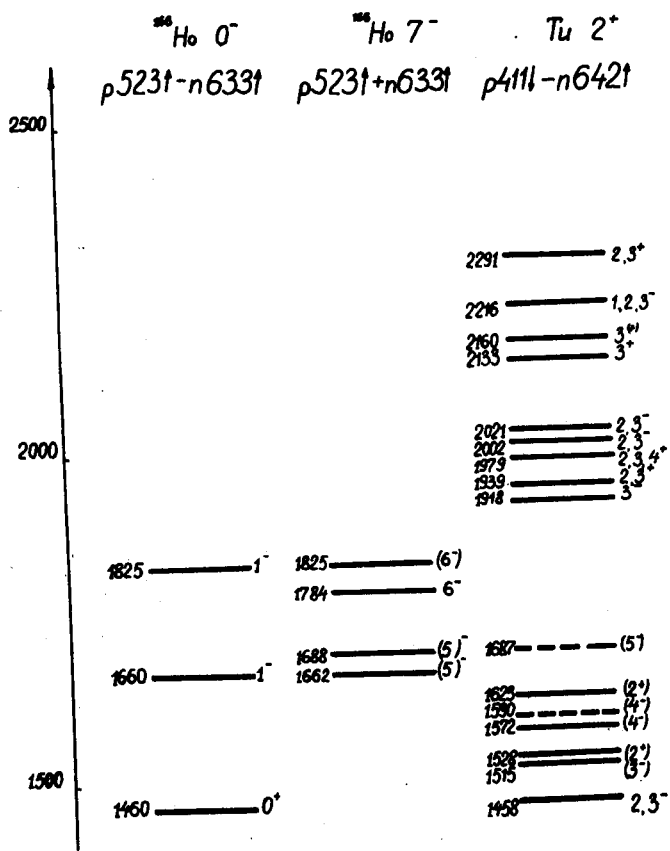


Рис. 3. Экспериментальные данные об энергиях, спинах и чётности уровней ^{166}Er , возбуждающихся при распаде $^{166}\text{Ho } (0^-)$, $^{166}\text{Ho } (7^-)$ и $^{166}\text{Tm } (2^+)$.