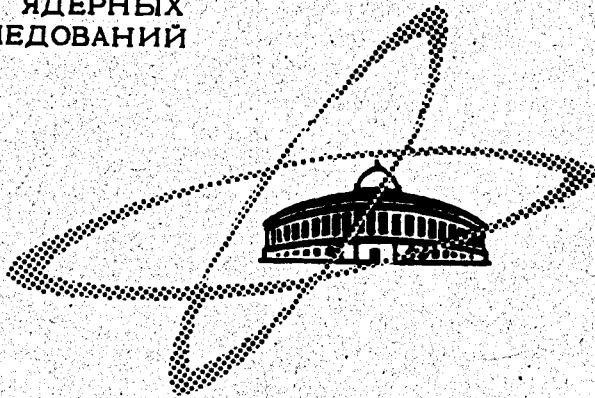


20/III 72

A-623

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P6 - 6250

Б. Амов . Т. Вандлик, Я. Вандлик, Ц. Вылов,
Ж. Желев , Н. Г. Зайцева, И. Пенев, Х. Тыррофф

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ¹⁹⁴Tl

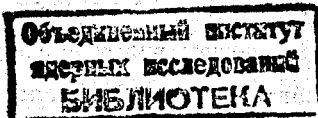
1972

P6 - 6250

Б.Амов*, Т.Вандлик, Я.Вандлик, Ц.Вылов,
Ж.Желев*, Н.Г.Зайцева, И.Пенев, Х.Тыррофф

194
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА Tl

Направлено в ЯФ



* Физический институт Болгарской Академии наук.

Введение

Нейтрондефицитный изотоп ^{194}Tl изучался ранее в работах ^{/1-3/}. Было установлено, что период полураспада этого изотопа равен 33 минутам и для него, так же как и для других чётных изотопов Tl ^{/4,5/}, наблюдалось изомерное состояние со спином 7^+ и с тем же периодом полураспада. Облучая разные мишени, Петри и др. ^{/2/} обнаружили, что некоторые гамма-переходы, наблюдаемые при распаде этого изотопа, имеют различную интенсивность в зависимости от того, в каком из состояний — изомерном или основном, находится ядро этого изотопа. Авторы работы дают некоторые сведения о схеме распада $^{194m+g}\text{Tl} \rightarrow ^{194}\text{Hg}$.

В настоящей работе детально исследованы спектры гамма-лучей и конверсионных электронов ^{194}Tl . На основе полученной информации в схему распада этого изотопа введен ряд новых состояний.

Экспериментальная часть

Нейтрондефицитные изотопы таллия получались в реакциях глубокого расщепления свинца при облучении мишени PbF_2 протонами с $E = 660$ Мэв на синхроциклотроне ЛЯП ОИЯИ. Выделение таллия из мишени проводилось газовым термохроматографическим методом во время облучения в режиме "он-лайн" ^{/6/}. Полученный таким образом таллий разде-

лялся на масс-сепараторе. Эффективность разделения составляла ~12%, разрешение массовых линий на коллекторе 1000, время разделения ~ 10 мин^{/7/}. Активность ¹⁹⁴Tl при этом была достаточной для измерений с помощью полупроводниковых детекторов. Для исследований было получено и использовано несколько десятков источников этого изотопа.

Гамма-спектр ¹⁹⁴Tl измерялся с помощью Ge(Li)-детекторов с рабочими объемами 0,5; 8,2 и 27 см³. Для повышения энергетического разрешения используемых гамма-спектрометров применялись предусилители с охлаждаемыми полевыми транзисторами^{/8/}. При этом один полевой транзистор находился в криостате с 0,5 см³ - детектором, другой - в отдельном криостате с 8,2 см³ - детектором. Разрешение γ -спектрометров для разных детекторов было^{/9/} таким:

Ge(Li) -детектор с объемом, см ³	Источник	Энергия, кэВ	Разрешение, кэВ
0,5	¹⁴¹ Am	26,0	0,650
8,2	⁵⁷ Co	122	1,5
	⁶⁰ Co	1330	2,5
27	⁶⁰ Co	1330	3,5

Спектры конверсионных электронов изучались на β -спектрометре с Si(Li)-детектором. Использовался дрейфовый детектор с рабочей площадью $S = 80$ мм² и толщиной дрейфа 4,0 мм^{/10/}, у которого входным окном служил слой золота 60 мкг/см². В этом спектрометре также применялся предусилитель с охлажденным полевым транзистором. Разрешение β -спектрометра для энергии электронов ~ 200 кэВ было 3,2 кэВ. Эффективность регистрации электронов для этого детектора определялась по известным конверсионным линиям в ¹⁵²Eu, ¹⁶¹Ho, ²⁰⁶Bi, ²⁰⁶Po.

Во время работы вакуум $3 \cdot 4 \cdot 10^{-3}$ мм Hg поддерживался безмасляным электроразрядным насосом НЭМ-100.

Экспериментальные результаты

При исследовании спектров γ -лучей, возникающих при распаде ^{194m}Tl , было обнаружено 42 γ -перехода. Идентификация γ -лучей проводилась по периоду полураспада. Участки γ -спектров показаны на рис. 1 и 2. Энергии и относительные интенсивности γ -лучей представлены в табл. 1. Благодаря хорошему разрешению γ -спектрометров нам удалось наблюдать L - и K -серии рентгеновского излучения Hg (рис.1). Полученные результаты по исследованию γ -спектра позволяют утверждать, что источник ^{194}Tl содержал примесей других изотопов таллия меньше 0,01%.

Данные о шестнадцати гамма-переходах, обнаруженных в работе /2/, подтвердились. В области энергий ~ 100 кэВ были обнаружены переходы 98,9 и 107,2 кэВ. Интервал энергии 100-1000 кэВ исследовался на 8,2 см³-детекторе. Переходы 219,0; 233,1; 239,0; 284,0; 298,1; 352,2; 366,6; 380,5; 395,5; 403,9; 446,5; 451,0; 462,5; 464,5; 511; 650,3 и 664,2 кэВ наблюдались впервые в гамма-спектре ^{194}Tl .

С целью обнаружения слабых гамма-переходов спектр гамма-лучей накапливался в течение ~ 3 час, обеспечивая максимальную нагрузку γ -спектрометра. Измерения велись на 27 см³-детекторе. Таким образом, был обнаружен ряд гамма-переходов: 675,7(1,0); 682,7(0,7); 691,0(0,9); 694,8(1,3); 702,2(1,6); 711,0(1,7); 719,8(1,9); 1383,0(0,9); 1424,4(0,8); 1445,9(0,7); 1530,7(1,3); 1550,3(2,3); 1640,0(0,9); 1676(0,6); 1691,4(1,3); 1822(0,7); 1832,0(0,6) и 1936,0 кэВ (0,9). (В скобках приведены относительные интенсивности в единицах $J_{\gamma 749}=100$).

Обработка полученных спектров проводилась на ЭВМ "Минск-2" при помощи программы "Каток"/12/, которая обеспечивала точное опре-

деление положения пика и его площади, что позволило нам уточнить энергии переходов по сравнению с ^{13/}. Калибровка по энергиям также проводилась на ЭВМ "Минск-2".

Спектр конверсионных электронов был измерен на 4-миллиметровом $Si(Li)$ -детекторе. Интенсивности a_K , J_K/J_L для 26 гамма-переходов даны в табл. 2. При определении a_K было принято, что мультипольность перехода $E2$ 428,2 кэв, что следует из соотношения J_K/J_L . При определении a_K использовались таблицы Слива ^{14/}. Для переходов, тип мультипольности которых вызывает сомнения, использовалось также и отношение J_K/J_L . Это позволило исключить неопределенность в выборе мультипольности для некоторых переходов.

Переходу 96,9 кэв было уделено особое внимание ввиду того, что его мультипольность определяет четность и спин уровня 1910,4 кэв, к которому привязаны и другие уровни. По-видимому, это переход типа $E2$, так как по данным нашей работы $a_K(96,9) = 4,10 \pm 4$. Авторы работы ^{12/} получили значение 4,2, а расчетные значения для $E1$, $M1$ и $E2$ равны 0,063; 1,1 и 4,3 соответственно. a_K для переходов 636,3; 645,2; 735,0 и 749,0 кэв, которые были определены в работе ^{12/}, находятся в согласии с нашими данными.

Схема распада $^{194m+g}Tl \rightarrow ^{194}Hg$

В исследуемом нами изотопе ^{194}Tl наблюдались как основное ($J^\pi = 2^-$), так и изомерное ($J^\pi = 7^+$) состояния. Разделить их вследствие одинакового периода полураспада нам, так же как и авторам работы ^{12/}, не удалось. На рис. 3 показаны схемы распада основного и изомерного состояний. При построении схемы распадов предполагалось, что состояния ^{194}Hg 2^+ , 4^+ и 3^+ заселяются из распада основного 2^- состояния ^{194}Tl , а состояния ^{194}Hg 7^- , 6^- и 5^- из распада изомерного 7^+ состояния ^{194}Tl . Баланс интенсивностей с учетом рентгеновских лучей показал, что состояние $0^+ ^{184}Hg$ не заселяется.

Есть основание предположить, что изомерный переход с уровня 7^+ отсутствует, так как обычно такие переходы конвертируют, и, следовательно, мы бы наблюдали K - и L -рентгеновские лучи Tl (рис. 1).

При определении $lg ft$ использовалась разность масс из таблиц Зельдеса ^{/15/}, данные которых дают хорошее согласие с экспериментом для других изотопов Tl . На основе систематики изомерных состояний Tl (рис. 4) предполагалось, что энергия изомерного состояния ^{194}Tl - 300 кэв.

В схеме возбужденных состояний ^{194}Hg наблюдалась последовательность уровней с $J^\pi = 0^+, 2^+, 4^+$ и 6^+ . Имея в виду результаты работы ^{/16/}, эти уровни можно описать как ротационные состояния с переменным, зависящим от спина состояния, моментом инерции. Применяя формулы этой работы и используя отношения E_{4^+}/E_{2^+} , мы рассчитали энергии ротационных состояний и их моменты инерции. Сравнение расчётных и экспериментальных данных показано на рис. 5. Используемая зависимость $J(I)$ приведена на рис. 6.

В схему распада ^{194}Tl нами были введены состояния 1293 кэв (3^+) и 1469,5 кэв 3^+ , спины которых были выбраны на основе мультипольностей соответствующих переходов. Вероятно, эти уровни и уровень 2^+ с энергией 1074 кэв имеют вибрационную природу.

В схеме распада ^{194}Tl наблюдался ряд состояний с отрицательной чётностью. Уровни 1813,5 кэв $J^\pi = 4^-, 5^-$ и 1910,5 кэв $J^\pi = 6^-, 7^-$ были предложены в работе ^{/2/}. При анализе $lg ft$ нам удалось установить, что их спины равны 5^- и 7^- соответственно. Состояния с $J^\pi = 5^-$ и $J^\pi = 7^-$ хорошо проявляются и в других чётно-чётных изотопах Hg ($A = 192, 194, 196$ и 198). На основе баланса энергий и интенсивностей γ -переходов нами были введены уровни 2165,8 кэв 6^- , 2180,8 кэв 4^- , 5^- ; 2260,0; 2264,7 кэв 4^- , 5^- ; 2374,8 кэв 6^- и 2463,8 кэв 6^- .

В сравнении с прежней нашей работой^{/13/} уточнены энергии перечисленных выше состояний ^{194}Hg , а их спины и чётности выбраны с учётом $lg ft$. В этой области энергий по результатам работы Ала-га^{/17/} можно ожидать появления состояний, возникающих в результате взаимодействия квадрупольного и октупольного фононов. Спины этих состояний могут принимать значения от 1^- до 7^- . По-видимому, мы имеем дело именно с такими состояниями.

Для упомянутых состояний заметно некоторое занижение $lg ft$, в особенности для $1813,5$ кэв ($J^\pi = 5^-$). Это может быть вызвано неопределённостью в разности масс, а также и самой природой изомерного уровня с $J^\pi = 7^+$. Как известно, из^{/18/} очень вероятно, что изомерные состояния $9/2^-$ в нечётных изотопах Tl имеют коллективную аномальную природу — спин $9/2^-$ представляется как комбинация из одного нуклона $h 11/2 (j = 11/2^-)$ и квадрупольного фонона. Возможно, что уровень со спином 7^+ тоже имеет коллективную природу. В систематике изомерных состояний (рис. 4) 7^+ и $9/2^-$ имеют одинаковую зависимость от A . В таком случае распад состояния с $J^\pi = 7^+$ был бы несколько ускоренным на указанные состояния ^{194}Hg .

Авторы благодарны И. Махунке за содействие в получении источников и за ряд обсуждений, а также В.Г. Калининкову за советы и замечания по работе.

Литература

1. B.Yung, G.Andersson. Nucl.Phys., 15, p.108 (1960).
2. R.Petry, R.A.Nauman and J.S.Evans. Phys.Rev., 174, p. 1441 (1968).
3. P.H.Hopke, R.A.Nauman, E.H.Spejewski. Phys.Rev., 177, p.1802 (1963).
4. O.W.B.Schult, W.Kaiser, Z.Physik., 218, p.95 (1969).

5. A. Pakkanen. Nucl. Phys., A172, p. 193 (1971).
6. T. Fenyés, J. Mahunka, M. Mahunka, Z. Mate, A. Piotrowski, L. Tron, H. Tyrroff, J. Vandlik, N. G. Zaitseva. Proc. Int. Conf. on Prop. of Nucl. far from the Region of β -stability, Leysin, II, 1081, 1970, Geneva, CERN, 70-30, 1970.
7. А. Пиотровски, В. И. Райко, Х. Тыррофф. Препринт ОИЯИ, P13-6014, Дубна, 1971.
8. V. Radeka. Coll. Internat. sur l'electr. nucl. Versaill, 1968.
9. Б. Амов, Ц. Вылов, Ж. Желев, А. И. Калинин, Б. П. Осипенко, И. Пенев, Д. Срка, В. И. Фоминых, Я. Юрковски. XIII совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра. ОИЯИ, Д6-5783, Дубна, 1971.
10. Б. Амов, Ц. Вылов, Ж. Желев, Й. Крацикова, Б. П. Осипенко, И. Пенев, XIII совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра, ОИЯИ, Д6-5783, Дубна, 1971.
11. Table of Isotopes - sixth edition C. M. Lederer, J. M. Hollander, J. Perlman, 1967.
12. В. Гаджоков. ПТЭ, 5, 26 (1970).
13. Б. Амов, Я. Вандлик, Ц. Вылов, Ж. Желев, Н. Г. Зайцева, И. Пенев, Х. Тыррофф. XIII совещание по ядерной спектроскопии и теории ядра. ОИЯИ, Д6-5783, Дубна, 1971.
14. Сб. "Гамма-лучи" под ред. Л. А. Слива. Изд. АН СССР, М.-Л. (1961).
15. N. Zeldes, A. Grill and A. Simievic. Mat. Fys. Skr. Dan. Vid. Selsk., 3, No. 5 (1967).
16. M. A. J. Marrisotti, G. Scharf-Goldhaber and B. Buck. Phys. Rev., 178, p. 1864 (1969).
17. G. Alaga. Proc. of the international school on Nucl. Theor. Phys., Predeal (1969).
18. Л. К. Пекер. В сб. Структура сложных ядер, Атомиздат, М., 1967, 348.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 января 1972 года.

Таблица I

Гамма-лучи, возникающие при распаде ^{194m}Tl .

E_γ	J_γ	E_γ	J_γ
9,8±0,2	L_α	352,2±0,25	2,2±0,4
11,9±0,2	L_β	366,5±0,25	2,3±0,4
13,6±0,2	L_γ	380,5±0,30	1,8±0,3
68,88±0,11	K_{α_2}	395,5±0,5	2,0±0,4
70,80±0,07	K_{α_1}	403,9±0,7	2,4±0,5
79,36±0,08	K_{β_1}	428,20±0,25	220±25
82,4±0,10	K_{β_2}	446,5±0,7	3,7±0,7
96,90±0,08	I_{0+2}	451,0±0,7	6,5±1,5
98,9±0,11	0,8±0,3	462,5±0,7	6,0±2
107,2±0,2	1,0±0,2	464,5±0,7	3,0±1
110,96±0,08	8,3±2	510,9±0,3	11±2
208,90±0,18	8,0±2	553,2±0,3	6±1,5
219,0±0,5	1,3±0,3	600,5±0,7	2,2±0,6
227,98±0,08	8,6±1	636,30±0,25	150±20
233,10±0,15	2,7±0,4	645,2±0,25	12±3
239,0±0,7	1,2±0,3	650,3±0,30	9±2
255,40±0,10	12±2	664,2±0,7	1,5±0,4
284,0±0,20	2,4±0,4	735,0±0,30	29±6
298,1±0,20	2,7±0,3	749,0±0,30	100
299,5±0,5	1,3±0,4	1040,3±0,5	5±1,5
319,8±0,10	5,1±1	1073,3±0,5	4±1,5

Таблица 2

Интенсивности конверсионных линий, α_K и J_K/J_L
для некоторых гамма-переходов ^{194}Tl

E_γ	J_K	J_L	J_{min}	α_K	J_K/J_L	Мультипольность
96,9	-	660	230	-	-	(см. в тексте)
208,9	27,0	17	5,8	$2,0 \cdot 10^{-1}$	1,6	E2+M1
219,5	8,0	-	-	$3,9 \cdot 10^{-1}$	-	E2+M1
227,98	44	24	5,5	$3,2 \cdot 10^{-1}$	1,8	E2+M1
233,1	5,0	-	-	$1,2 \cdot 10^{-1}$	-	E2
239,0	9,0	-	-	$5,0 \cdot 10^{-1}$	-	M1
255,4	73	13	5,7	$3,7 \cdot 10^{-1}$	5,7	M1
284,0	15	-	-	$3,7 \cdot 10^{-1}$	-	M1
298,1	3,9	-	-	$9,0 \cdot 10^{-2}$	-	E2+M1
319,8	3,5	-	-	$4,2 \cdot 10^{-2}$	-	E2
352,5	4,6	-	-	$1,3 \cdot 10^{-1}$	-	E2+M1
366,5	6,8	-	-	$1,7 \cdot 10^{-1}$	-	M1
380,5	6,4	-	-	$2,2 \cdot 10^{-1}$	-	E3+M2
395,5	4,3	-	-	$1,3 \cdot 10^{-1}$	-	M1
403,9	4,8	-	-	$1,2 \cdot 10^{-1}$	-	M1
428,2	100	37	16	$2,8 \cdot 10^{-2}$	2,7	E2 (принято)
446,5	5,6	1,6	-	$9,3 \cdot 10^{-2}$	3,5	M1
451,0	6,7	2	-	$6,4 \cdot 10^{-2}$	3,3	M1+E2
462,5	5,0	1,5	-	$5,1 \cdot 10^{-2}$	3,3	M1+E2
464,5	5,3	2	-	$1,1 \cdot 10^{-1}$	2,6	M1
553,2	6,3	-	-	$6,7 \cdot 10^{-1}$	-	M1
636,30	32	7,0	-	$1,3 \cdot 10^{-2}$	4,5	E2
645,2	3,0	-	-	$1,5 \cdot 10^{-2}$	-	E2+M1
650,3	3,2	-	-	$2,1 \cdot 10^{-2}$	-	M1+E2
735,0	3,8	-	-	$9,0 \cdot 10^{-3}$	-	E2
749,0	5,4	-	-	$3,3 \cdot 10^{-3}$	-	E1

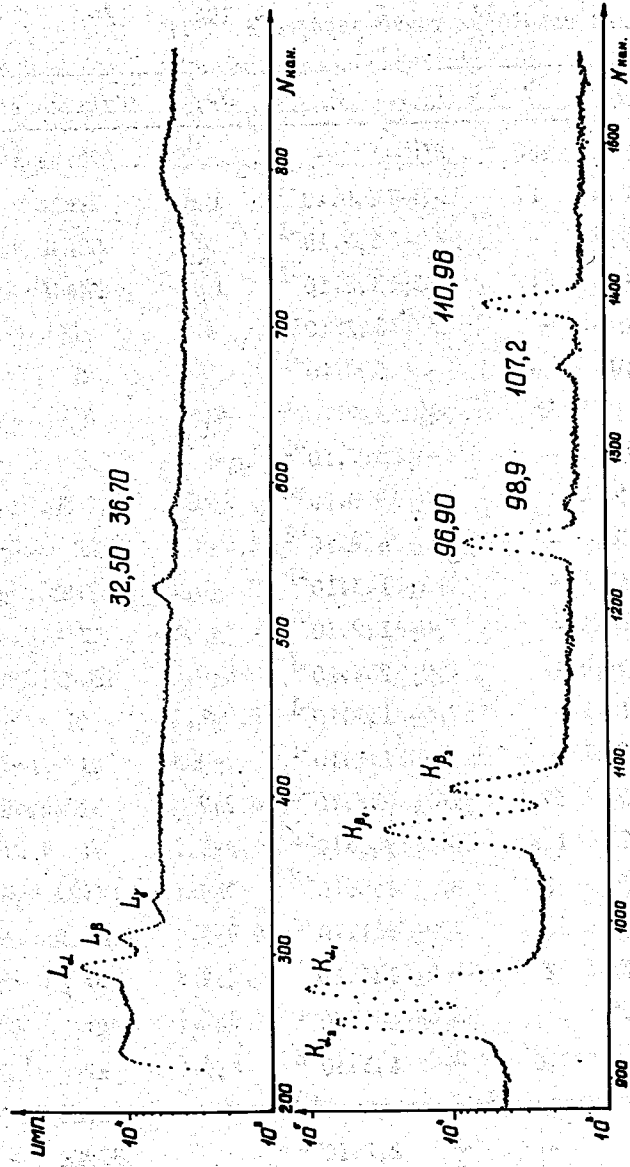


Рис. 1. Гамма-спектр ^{194}Tl в области энергий 5-120 кэв, измеренный на $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторе с $V \approx 0,5 \text{ см}^3$ (окошко детектора 0,25 мм Be).

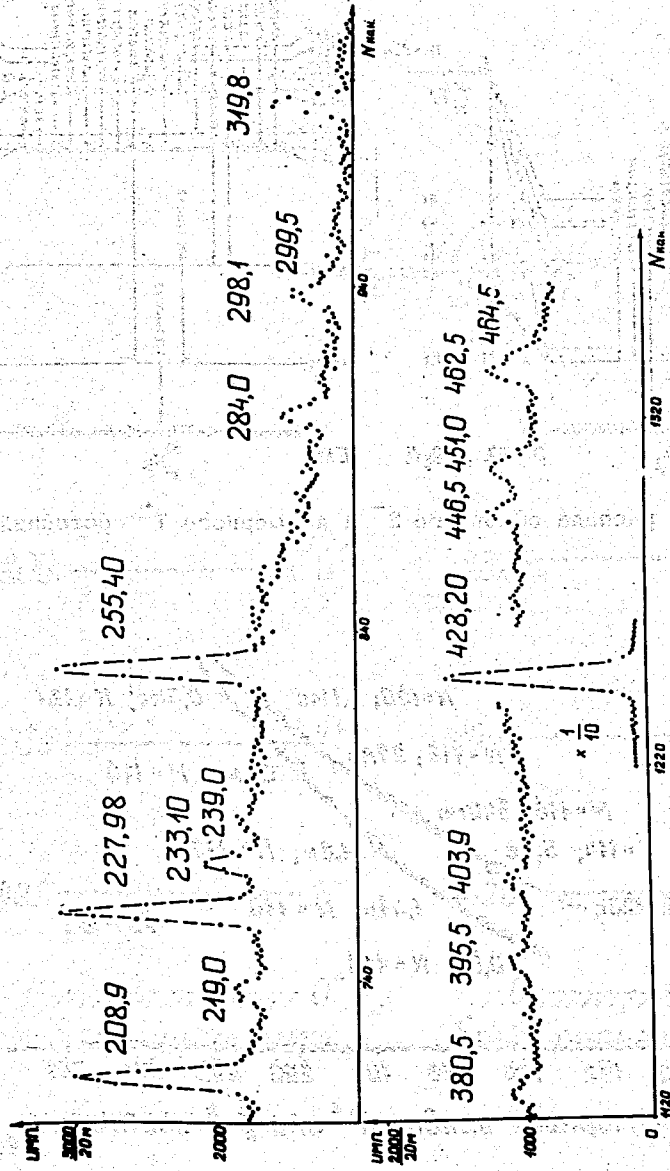


Рис. 2. Участок гамма-спектра ^{194}Tl , измеренный на $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторе с $V \approx 8,5 \text{ см}^3$.

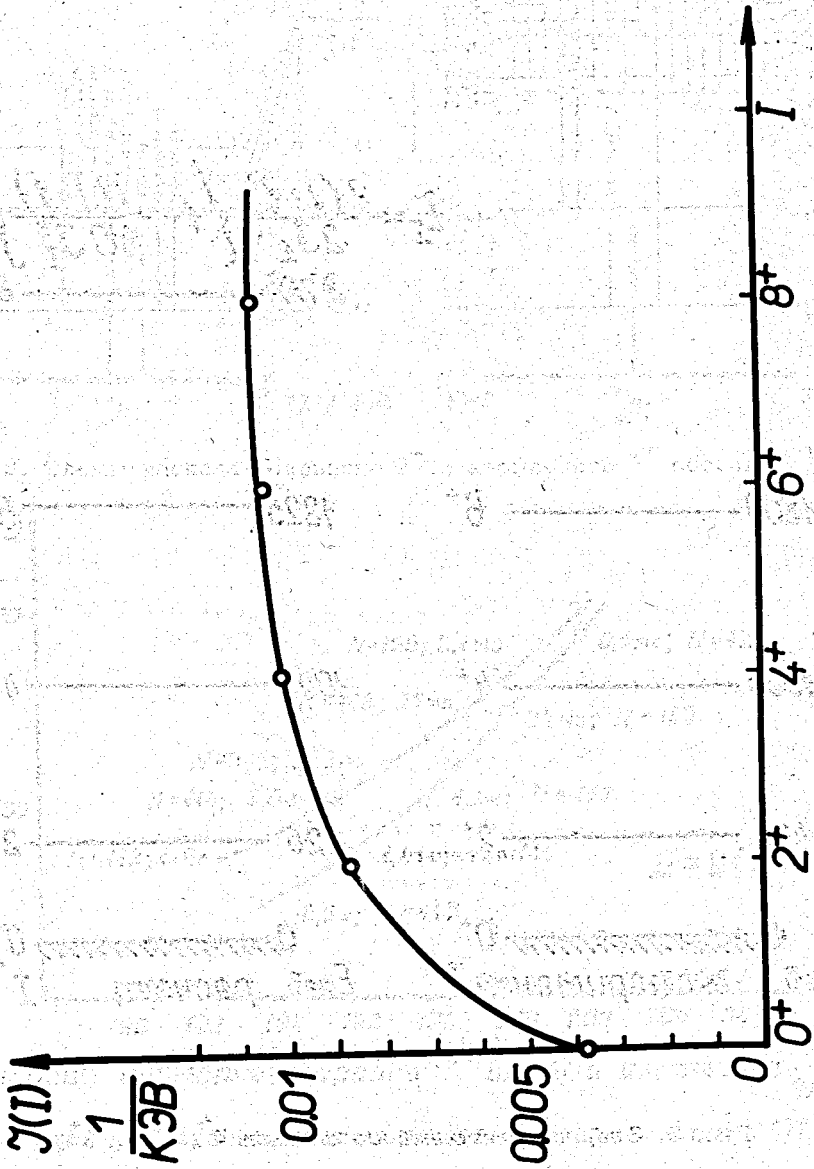


Рис. 6. Зависимость момента инерции от спина состояния / при расчёте ротационных состояний.