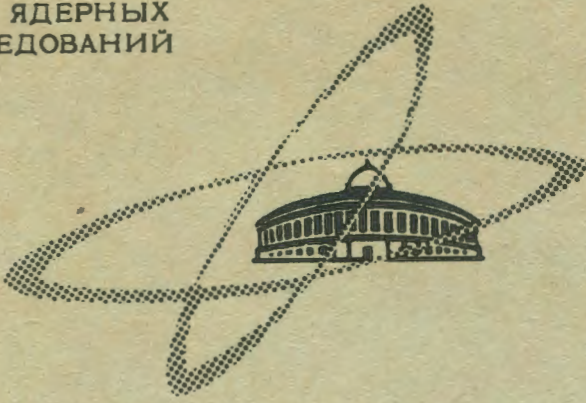


Изв. АН СССР, сер. физ., 1969, т. 33, № 8, с. 1329-1330
11/II - 69

Б-568

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



6 - 4217

Ф.Бечварж, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, Н.Г.Зайцева,
М.Г.Лоцилов, У.К.Назаров, С.С.Сабилов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ¹²⁴ J

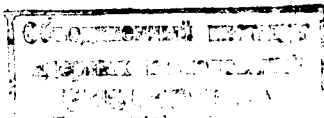
1968

6 - 4217

Ф.Бечварж, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, Н.Г.Зайцева,
М.Г.Лошилов, У.К.Назаров, С.С.Сабилов

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ¹²⁴J

Направлено в Известия АН СССР



В в е д е н и е

Возбуждение состояний четно-четного сферического ядра ${}_{52}^{124}\text{Te}_{72}$ происходит как при β^- -распаде ${}^{124}\text{Sb}$ ($I^\pi = 3^-$), так и при β^+ -распаде ${}^{124}\text{J}$ ($I^\pi = 2^-$). Изучению распада ${}^{124}\text{Sb}$ посвящено большое число работ /1/. Наиболее полные сведения о гамма-переходах были получены недавно Врзалом и др. /2/, Стелсоном /3/ и Григорьевым и др. /4/. Схема уровней ${}^{124}\text{Te}$, предложенная в этих работах, довольно хорошо разработана.

Однако распад ${}^{124}\text{J} \longrightarrow {}^{124}\text{Te}$ до сих пор мало исследован. Некоторые сведения о гамма-спектре, спектре конверсионных электронов, γ - γ и β^+ - γ -совпадениях были получены в работах /5-13/ с использованием сцинтилляционных гамма-спектрометров и линзовых бета-спектрометров. Представляло интерес исследовать распад ${}^{124}\text{J} \longrightarrow {}^{124}\text{Te}$ с применением приборов более высокого класса.

Приборы и источники

Спектры позитронов и электронов внутренней конверсии изучались при помощи бета-спектрометра с двойной двукратной фокусировкой на угол $\pi\sqrt{2}$ ($R = 0,20\%$, $\Omega = 0,1\%$) /14/. Исследование спектра гамма-лучей фракции йода было проведено с помощью полупроводникового гамма-спектрометра. В работе были использованы $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторы коаксиального типа с чувствительным объемом 12 и 6 см³ и разрешением, соответственно, 5,0 и 4,2 кэВ на линии 1332 кэВ ${}^{60}\text{Co}$.

В качестве источника была использована фракция йода, выделенная из мишеней лантана или церия, облученных протонами с энергией 660 МэВ

на синхроциклотроне ОИЯИ. Методика выделения высокоактивного препарата йода описана в работе /15/.

Источники для бета-спектрометра изготавливались выпариванием активного раствора фракции йода на серебрянную фольгу сразу после выделения. Препараты для исследования гамма-спектра изготавливались спустя 6 дней после облучения с повторной очисткой фракции йода от дочерних продуктов.

Экспериментальные результаты

Гамма-спектр. Спектр гамма-лучей препарата йода изучался в течение 30 дней, чтобы можно было надежно идентифицировать гамма-линии, относящиеся к распаду ^{124}J . Результаты изучения гамма-спектра ^{124}J приведены в табл. 1.

Спектры конверсионных электронов и позитронов. Изучены спектры электронов внутренней конверсии при распаде ^{124}J . Наблюдались 28 K-конверсионных линий интенсивных гамма-переходов. Полученные результаты приведены в табл. 1 (колонки 1 и 3). Исследования позитронного излучения ^{124}J подтвердили результаты работ /6,9,13/. Было обнаружено 3 компонента позитронного спектра; определены их относительные интенсивности и граничные энергии. Полученные данные о позитронах приведены в табл. 2. Исходя из предложенной схемы распада (см. рис. 1) определено экспериментальное значение отношения K/β^+ компоненты $E_{\text{гр.}} = 1520$ кэв и сделано его сравнение с теоретическим значением /16/. Экспериментальное и теоретическое значения отношения K/β^+ в пределах ошибки согласуются.

Определение мультипольностей гамма-переходов. Полученные нами данные об интенсивностях гамма-лучей и электронов внутренней конверсии ^{124}J использованы для определения коэффициентов внутренней конверсии гамма-переходов. Путем сравнения экспериментальных отношений $\frac{I_k}{I_\gamma} = a_k$ с теоретическими значениями a_k для разных мультипольностей определены мультипольности некоторых переходов. Полученные результаты приведены в табл. 1 (колонки 4 и 5).

Таблица 1. Переходы в ^{124}Te , возникающие при распаде ^{124}J

Энергия перехода кэв	I_γ отн. ед.	I_k отн. ед.	$a_k \cdot 10^4$ эксп.	Вывод о мультипольности
1	2	3	4	5
595,0±1,5	14,6±8,6	-	-	-
602,5±0,5	2320	10	43,1	Принято E2
(636,0±2,0)	13,9±5,5	-	-	-
645,0±1,5	28,5±2,9	0,092±0,02	32,2±6,0	E2
710,0±1,5	4,6±1,2	-	-	-
714±1,5	4,9±1,6	-	-	-
722,5±0,5	28,5±2,9	0,79±0,3	24,6±5,5	E2 + M1
792,5±1,5	1,9±0,7	-	-	-
878,0±2,0	3,5±0,9	-	-	-
960,0±2,0	4,9±1,5	-	-	-
968,0±2,0	3,5±0,8	-	-	-
(1000,0±3,0)	~ 1	-	-	-
1045,0±1,5	13,7±3,0	0,01±0,003	7,3±3,0	(E1 + M2)
1080,0±2,0	1,5±0,7	-	-	-
(1160)	~ 1	-	-	-
(1208,0±2,0)	~ 1	-	-	-
1325,0±1,0	46,4±5,0	0,04±0,01	8,6±2,0	M1 + E2
1367,8±1,5	15,0±3,0	0,007±0,002	4,7±1,5	(E1)
1375,0±1,5	56,9±6,0	0,02±0,004	3,5±0,4	E 1
1380,0±2,0	5,0± 1,5	-	-	-
1408,0±2,0	2,3±0,9	-	-	-
1436,0±2,0	2,5± 0,9	-	-	-
1445,0±2,0	2,8±0,9	-	-	-
1489,0±1,5	6,7±1,5	0,003±0,001	6,0±2,0	(M1+ E2)
1492,0±1,5	6,7±1,5	0,006±0,002	22,2±7,0	(M2 + E1)
1511,0±1,0	99,8±10	0,03±0,006	3,0±0,5	E 1
1560,0±2,0	4,0±1,5	-	-	-
1638,0±2,0	5,1±1,5	-	-	-
1690,7±1,0	353±36	0,07± 0,01	2,0±0,2	E 1
1721,5±1,5	6,3±1,5	0,003±0,001	4,7±1,5	(E2+M1)
1726,0±1,5	12,1±3,0	0,005±0,0015	4,1±1,5	(E2+M1)
1847,0±1,5	3,0±1,0	0,001± 0,0003	3,7±1,2	(E2+M1)
1852,5±1,5	8,1±2,5	0,005±0,0015	6,2±1,5	(E3+M2)

1	2	3	4	5
1921,5±1,5	5,0±1,5	0,003±0,001	6,0±2,0	(E3+M2)
2039,0±2,0	12,8±3,0	0,004±0,001	3,1±0,5	E2+M1
2079,5±2,0	11,4±2,5	0,004±0,001	3,5±0,5	E2+M1
2090,0±2,5	(14,6±2,5)	0,003±0,001	2,0±0,5	(E 1)
2094,5±2,5	(2,1±0,5)	0,0015±0,0005	7,1±1,5	(M2+E1)
(2098,0±3,0)	~ 1	-	-	-
2102,0±2,5	3,0±0,8	-	-	-
2140,0±2,0	1,5±0,7	0,001±0,0004	6,7±2,5	(M2, M2+E1)
2145,0±2,0	3,5±0,8	0,001±0,0003	2,9±0,5	(E2 +M1)
2232,0±2,5	20,4±3,5	0,003±0,001	1,5±0,4	E 1
2282,5±2,5	(11,2±3,0)	0,0015±0,0005	1,9±0,4	(E 1)
2287,0±2,5	(7,4±2,5)	0,004±0,001	5,4±1,5	(M2+E1)
2293,0±2,5	2±0,6	-	-	-
2450,0±2,5	2,8±1,0	0,0007±0,0002	2,5±0,8	(E2+M1)
2485,0±3,0	~ 1	-	-	-
2641,0±3,0	~ 0,2	-	-	-
2682,0±3,0	~ 0,2	-	-	-
2693,0±3,0	0,6±0,3	-	-	-
2734,0±3,0	2,2±1,0	-	-	-
2743,0±3,0	(6,0±2,0)	0,0013±0,0004	2,1±0,5	(M1+E2)
2748,0±3,0	(14,0±3,0)	0,003±0,001	2,1±0,5	(M1+E2)
(2836,0±3,0)	~ 0,1	-	-	-
3000,0±3,0	~ 0,2	-	-	-

(1000) - возможные слабые γ переходы

Таблица 2
Данные о позитронах 124 J

Граничная энергия (кэВ)	Интенсивность % на распад	Теория /18/		Экспер. (К/β ⁺)	% зах.	Полная интенсивность	lg ft
		(К/β ⁺) разреш.	(К/β ⁺) уник.				
790 ± 30	≤ 0,5	19,9	100,1	-	5	5,5	6,8
1520 ± 15	10,5	2,2	7,6	2,6	33,5	44,0	7,5
2136 ± 10	10,9	0,54	1,6	-	20	30,9	8,1

Схема распада $^{124}\text{J} \rightarrow ^{124}\text{Te}$

Наши исследования и данные других авторов /6,9,13/ показывают, что при распаде ^{124}J возникает три компоненты β^+ -спектра с граничными энергиями 790 ± 30 , 1520 ± 15 и 2136 ± 10 кэВ. В работе Митчелла и др. /9/ изучались β^+ - γ -совпадения и не было обнаружено совпадений жесткой компоненты β^+ -спектра с гамма-лучами. Можно поэтому предположить, что жесткая компонента позитронов ^{124}J ($E_{\text{пр}}=2136$ кэВ) связана с распадом в основное состояние ^{124}Te . Тогда энергия распада $^{124}\text{J} \rightarrow ^{124}\text{Te}$ по нашим измерениям равна 3160 ± 10 кэВ.

Гарвин и др. /16/ измерили спин ^{124}J ($I=2$). Четность волновой функции основного состояния можно определить из данных о β^+ -распаде. Если характеристики основного состояния $^{124}\text{J} - I^\pi = 2^+$, то β^+ -распад в основное состояние ^{124}Te должен отсутствовать, так как бета-распад $2^+ \rightarrow 0^+$ относится к второму порядку запрещения ($\Delta I=2$) с матричным элементом $lg ft = 11$.

Полученное для этого бета-перехода значение $lg ft=8,1$ соответствует уникальным бета-переходам первого запрещения. Это позволяет приписать основному состоянию ^{124}J отрицательную четность и спин 2. Такое состояние образуется, согласно модели оболочек /18/, как:

$$\{p(q 7/2), n(h 11/2)\}.$$

Схема возбужденных уровней, возникающих при распаде ^{124}J , показана на рис. 1. На схеме для каждого уровня указаны энергия, возможные квантовые характеристики, процент бета-распада на уровень и величина $lg ft$.

Наиболее интенсивный переход 602,5 кэВ по данным /19/ определяет энергию уровня первого однофонного состояния. Выше этого состояния на 600-800 кэВ должны находиться уровни 4^+ , 2^+ , 0^+ двухфонного триплета. Рядом авторов /3,10,11/ было установлено существование уровней с энергиями 1247,5 кэВ (4^+) и 1325 кэВ (2^+), которые можно рассматривать как первые два уровня этого триплета. Третий член триплета (0^+) может находиться в районе 1200-1500 кэВ. Аналогичные состояния в четно-четных ядрах теллура имеют энергию: 1358 кэВ (0^+) в ^{122}Te ,

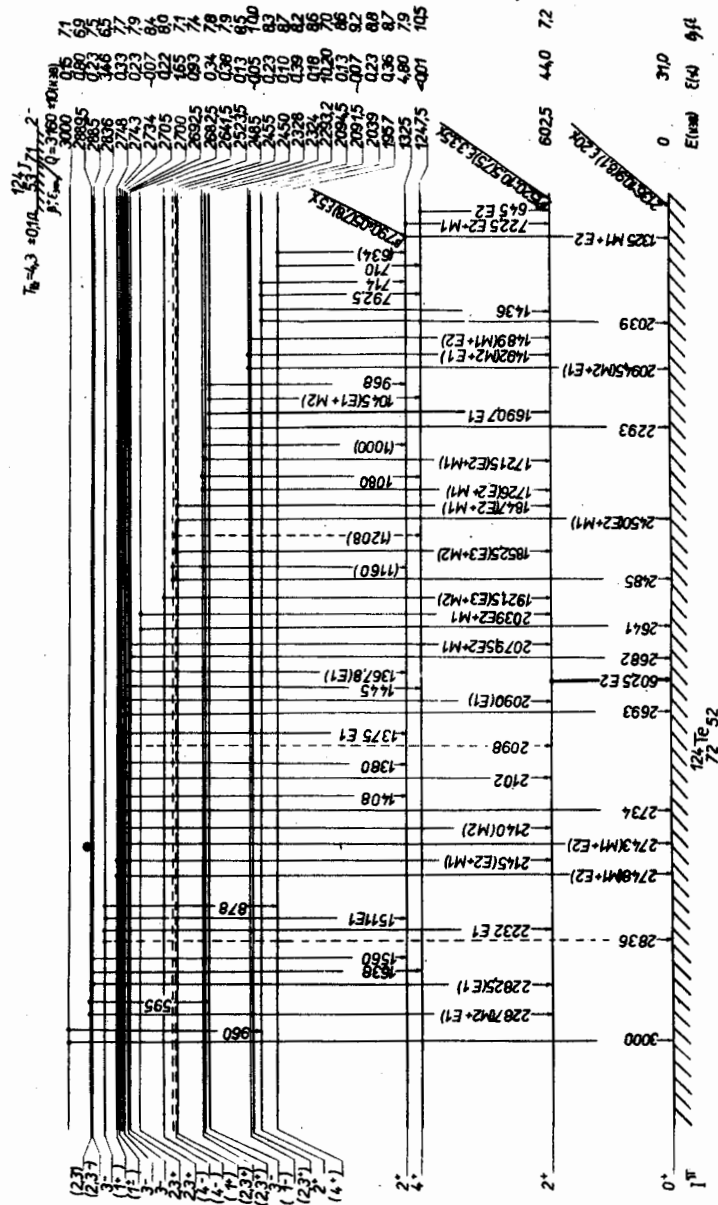


Рис.1. Схема возбужденных уровней ^{124}Te .

1223 кэв (0^+) в ^{120}Te и 1127 кэв (0^+) в ^{118}Te /20/.

Состояние типа 0^+ в ^{124}Te может возбуждаться при распаде ^{124}J . Поиски такого уровня пока не привели к положительному результату.

При распаде ^{124}Sb возбуждается уровень с энергией 2039 кэв. Спин и четность этого уровня - 2^+ были установлены Григорьевым и др. /4/. Уровень 2039 кэв (2^+) должен возбуждаться и при распаде ^{124}J . Действительно, мы наблюдали те гамма-переходы, которые возникают при разрядке уровня с энергией 2039 кэв. Отношения их интенсивностей $I_{\gamma 714} : I_{\gamma 792,5} : I_{\gamma 1436} : I_{\gamma 2039} = 1:0,39:0,51:2,6$. По Стелсону /3/ те же отношения имеют место при распаде ^{124}Sb $1:0,25:0,50:0,018$. Отношения интенсивностей первых трех гамма-переходов в пределах ошибок измерений совпадают. Это позволяет утверждать, что уровень 2039 кэв (2^+) возбуждается и при распаде ^{124}J . В то же время интенсивность перехода 2039 кэв при распаде ^{124}J заметно больше интенсивности других переходов, идущих с уровня 2039 кэв. При распаде ^{124}Sb наблюдается обратная картина. Это, вероятно, связано с тем, что гамма-переход 2039 кэв - сложный и основная часть его интенсивности приходится на переход, идущий из введенного нами уровня с энергией 2641,5 кэв на уровень с энергией 602,5 кэв.

Если характеристики уровня 2039 кэв 2^+ , то его можно интерпретировать как состояние, образующееся при расщеплении трехфононного квинтета. В пользу такого заключения говорит тот факт, что разность энергий уровней 2^+ одно- и двухфононных состояний равна 722,5 кэв (1325 кэв - 602,5 кэв), а в случае двух- и трехфононных состояний эта разность составляет 714 кэв (2039 кэв - 1325 кэв). Энергетическая щель фононов в обоих случаях практически одинакова. Кроме того, уровень 2039 кэв (2^+) гораздо слабее заселяется бета-распадом по сравнению с одно- и двухфононным уровнем 2^+ : отношения приведенных интенсивностей бета-распада для уровней 2^+ ($1\hbar\omega$), 2^+ ($2\hbar\omega$) и 2^+ ($3\hbar\omega$) составляют: $1:0,2:0,03$.

Теория предсказывает, что при расщеплении трехфононного квинтета образуются уровни с характеристиками 0^+ , 2^+ , 3^+ , 4^+ , 6^+ /19/. Состояния с энергиями 1957 кэв (4^+) и 2091,5 (3^+), наблюдавшиеся нами

и другими авторами /3,4/, возможно, являются членами этого квинтета. Интересно сравнить разность энергии уровней 2^+ и 4^+ у двух- и трехфононных состояний, которые соответственно равны 78 и 82 кэв. Уровень с характеристиками 6^+ , очевидно, не должен возбуждаться при распаде ^{124}J (2^-).

Уровни с характеристиками $1^- = 3^-$. В схеме уровней ^{124}Te возбуждаются уровни с характеристиками 3^- при энергии 2836, 2700, 2692,5, 2293,2 кэв. Состояния 2692,5 и 2293,2 кэв наблюдались из распада ^{124}Sb /2,3,4/ и из распада ^{124}J /10,11,13/.

Среди уровней 3^- наиболее интенсивно заселяется состояние 2293,2 кэв, которое можно интерпретировать как состояние, связанное октупольным колебаниями поверхности ядра. Характеристики уровней 2692,2 и 2292,5 кэв были установлены во многих работах и наши данные их тоже подтверждают, поэтому нет сомнения, что указанные уровни имеют спин и четность 3^- .

Переходы с энергиями 1375, 1511 и 2232 кэв имеют мультипольности типа E1. Исходя из мультипольностей переходов и соотношения интенсивностей, мы считаем характеристики уровня 2700 и 2836 кэв 3^- .

Наши экспериментальные данные позволяют предполагать существование ряда новых состояний с энергиями: 3000:2885:2743:2734:2705:2700:2682,5:2641,5:2485:2455:2450:2328 и 2094,5 кэв (из распада ^{124}J). Из энергии распада ядер $^{124}\text{J} \rightarrow ^{124}\text{Te}$ ($Q = 3160 \pm 10$ кэв) можно считать, что все переходы с энергией выше 2500 кэв являются переходами в основное состояние ^{124}Te . Указанный факт явился аргументом при идентификации новых уровней. Возможные спин и четность уровней указаны на рис. 1.

Таким образом, в результате изучения спектров гамма-лучей, конверсионных электронов и β^+ -распада ^{124}J получены наиболее полные сведения об излучениях ^{124}J . Все наблюдаемые переходы размещены в предполагаемой схеме $^{124}\text{J} \rightarrow ^{124}\text{Te}$.

Предварительные результаты этой работы докладывались на Международном симпозиуме по структуре ядра в Дубне (июль 1968) /21/.

Л и т е р а т у р а

1. C.M.Lederer, J.M.Hollander and I.Perlman. Table of isotopes (1967).
2. Врзал Я., Джелепов Б.С., Дмитриев А.Г., Жуковский Н.Н., Липтак Я., Урбанец Я. Препринт ОИЯИ Р6-2986, Дубна 1966.
3. P.N.Stelson. Phys.Rev., 4, 157, 1098 (1967).
4. Е.П. Григорьев, А.В. Золотавин, В.О. Сергеев, М.И. Савцов. Изд. АН СССР, сер. физ., 32, 5, 773 (1968).
5. T.T.Livingood and G.T.Seaborg. Phys.Rev., 54, 775, (1938).
6. Mitchell, Mei, Maienshen, Peacock. Phys.Rev., 76, 1450(1949).
7. L.Marguez, I.Perlman. Phys.Rev., 78, 189(1950).
8. N.A.Dyson, P.E.Francois. Phys.Rev. in Med.Biol., 3, 111(1958).
9. A.C.G.Mitchell, J.O.Juliano, C.B.Creger, C.M.Kocher. Bull. Amer. Phys. Cos., 3, 357 (1958); Phys.Rev. 113, 628(1959).
10. R.K.Girgis, R.Van Lieshout. Physica, 25, 133(1959).
11. K.Sugiyama, H.Ikegami, T.Yamazaki. J.Phys.Japan, 14, 986 (1959).
12. М.Я. Кузнецова, В.Н. Мехедов, В.А. Халкин. Атомная энергия, 4, 455 (1958).
13. Ruan, Jian, (Gen) Inoul,Hikari. J.Phys.Soc.Japan, 3,23, 481 (1967).
14. С.А. Шестопалова. Изв. АН СССР, сер. физ., 25, 1302 (1961).
15. Н.Г. Зайцева, Ким Хон Сил, В.А. Халкин. Радиохимия 8,5, 576 (1966).
16. Л.Н. Зырянова. Уникальные бета-переходы. Изд. АН СССР (1960).
17. H.L.Garvin, T.M.Green, E.Lipworth. Phys.Rev., 111, 534(1958).
18. М. Геппрет-Майер, И.Г.Д. Иенсен. Элементарная теория ядерных оболочек. Изд. ИЛ Москва (1958).
19. Р.Б. Бегжанов, Д.А. Гладышев, А.А. Исламов, С.Л. Раковицкий. Возбужденные состояния ядер. Изд. "ФАН" УзССР, Ташкент, 1967.
20. E.H.Spejewski, Bull.Amer. Phas.Soc., 13, 4(1968).
21. Zh.Zhelev, N.G.Zaitseva, M.G.Loschilov, U.K.Nazarov, S.S.Sabirov, J.Urbancs, Международный симпозиум по структуре ядра СССР, Дубна, 1968 г.

Рукопись поступила в издательский отдел

25 декабря 1968 года.