

13/VIII-7

A-941

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6-5151



В.П. Афанасьев, И.И. Громова, Г. Исхаков,
В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, Н.А. Лебедев

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ ¹⁴⁷Gd,
ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ РАСПАДЕ ¹⁴⁷Tb

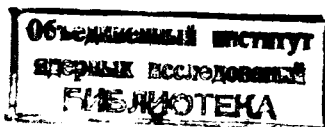
1970

P6-5151

8423/2 пр
В.П. Афанасьев, И.И. Громова, Г. Исхаков,
В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, Н.А. Лебедев

ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ ¹⁴⁷Са,
ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ РАСПАДЕ ¹⁴⁷Ть

Направлено в ЯФ



1. Введение

В^{/1/} имеется указание на существование ^{147}Tb с периодом полураспада 24 мин. До недавнего времени других сведений о свойствах ^{147}Tb в литературе не имелось. Настоящая работа выполнена с целью получения информации о распаде ^{147}Tb и о возбужденных состояниях ^{147}Gd . В исследованиях использовался моноизотоп ^{147}Tb , полученный с помощью масс-сепаратора^{/2/}. В период проведения исследований гамма-излучения при распаде ^{147}Tb нам стало известно о результатах работы^{/3/}, в которой также исследовалось гамма-излучение при распаде ^{147}Tb . Авторами^{/3/} обнаружены гамма-лучи с энергиями $118,5 \pm 0,3$, $139,4 \pm 0,5$ и $694,4 \pm 0,5$ кэВ и позитроны с интенсивностью $\approx 5\%$ на распад ^{147}Tb ; основному состоянию ^{147}Tb с $T_{1/2} = 1,61 \pm 0,17$ час приписаны спин и четность $I^\pi = 5/2^-$; кроме того, указано на существование изомерного состояния ^{147}Tb с $I \geq 11/2$ и $T_{1/2} = 2,5 \pm 0,1$ мин. Схема возбужденных состояний ^{147}Gd , возникающих при распаде наблюдавшихся изомеров ^{147}Tb , в^{/3/} не дана.

2. Экспериментальная методика и результаты

Тербий-147 был получен в реакции расщепления ядер тантала при облучении протонами с энергией 660 Мэв на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Из мишени тантала химическим путем^{/4/} выделялся элемент тербий. Последующее разделение тербия по изотопам проводилось на масс-сепараторе^{/2/} Отдела ядерной спектроскопии и радиохимии.

Гамма-излучение ^{147}Tb исследовалось с помощью Ge(Li) -детекторов с чувствительными объемами $\approx 10\text{ см}^3$ и $\approx 30\text{ см}^3$ и амплитудного анализатора АИ-4096. Полуширина фотопика для гамма-лучей с энергией 1153,0 кэв составляла 3,6 и 5,5 кэв для первого и второго детектора, соответственно. Спектр гамма-лучей, измеренный с помощью Ge(Li) -детектора с чувствительным объемом $\approx 10\text{ см}^3$, представлен на рис. 1. Видно, что в исследуемом спектре проявляются слабо даже самые интенсивные гамма-лучи соседних изотопов ^{149}Tb , ^{150}Tb и ^{151}Tb . В гамма-спектре присутствуют также гамма-лучи дочернего ^{147}Gd , который накапливался за время от момента химического выделения тербия до начала измерения. Присутствие в спектре исследуемого источника гамма-лучей, возникающих при распаде ^{147}Gd , позволило рассчитать доли гамма-лучей на распад материнского ^{147}Tb . Для определения интенсивности гамма-лучей в процентах на распад ^{147}Tb и его периода полураспада спектр гамма-лучей измерялся по два раза в каждом из двух проведенных опытов. При расчете, согласно работе^{/5/}, принималось, что интенсивность гамма-лучей ^{147}Gd с энергией 229,2 кэв составляет 62% на распад. В результате получено, что интенсивность гамма-лучей с энергией 1153,0 кэв составляет $(75,0 \pm 7,6)\%$ на распад ^{147}Tb .

Период полураспада ^{147}Tb , определенный по спаду интенсивности гамма-лучей с энергиями 119,7; 139,8; 694,5; 1153,0 кэв, равен $1,7 \pm 0,1$ час.

Энергии и интенсивности гамма-лучей, сопровождающих распад ^{147}Tb , представлены в таблице 1.

Интенсивность рентгеновского излучения при распаде ^{147}Tb не определялась из-за возможного искажения за счёт примеси соседних изотопов тербия и дочернего ^{147}Gd , с одной стороны, и из-за плохо определенной эффективности регистрации гамма-лучей с энергией меньше 60 кэв, с другой. Интенсивность гамма-лучей с энергией 1660 кэв, по-видимому, завышена из-за вклада интенсивности от фотопика двойного вылета из детектора аннигиляционных гамма-квантов при регистрации гамма-лучей с энергией 2684 кэв.

Из табл. 1 видно, что кроме гамма-лучей, указанных на рис. 1 при распаде ^{147}Tb наблюдались также гамма-лучи с энергиями 1949, 2564 и 2684 кэв.

Указанные в таблице погрешности в определении интенсивностей гамма-лучей включают статистическую ошибку и ошибку, обусловленную погрешностью в определении эффективности регистрации гамма-лучей детекторами. Ошибка в определении эффективности принята равной 10% для всей области энергий. Кривая эффективности регистрации гамма-лучей детекторами в зависимости от энергии определялась экспериментально с использованием источников ^{241}Am ^{/6/}, ^{169}Yb ^{/7/}, ^{226}Ra ^{/8/}, ^{24}Na ^{/9/} и ^{56}Co ^{/10/}.

Сравнение полученных результатов с данными работы^{/3/} указывает, что в цитируемой работе были обнаружены лишь интенсивные гамма-лучи, возникающие при распаде ^{147}Tb в области энергий до 1 Мэв. Однако вызывает удивление тот факт, что авторы^{/3/} не обнаружили самый интенсивный переход с энергией 1153,0 кэв.

Таблица 1

Энергии и относительные интенсивности гамма-лучей при распаде ^{147}Tb

E_γ (кэВ)	I_γ (% на распад ^{147}Tb)	
	Настоящая работа	Работа/3/
1. 119,7±0,5	6,7±0,7	5,1±1,0
2. 139,8±0,5	33,7±3,4	24±3
3. 183,5±1,0 ^{a)}	0,45±0,11	-
4. 259,5±0,5 ^{б)}	2,5±0,4	-
5. 347,4±0,5 ^{a)}	2,6±0,4	-
6. 407,4±0,5	1,6±0,3	-
7. 511	10,1±1,1	-
	($I_{\beta^+} = 5,6 \pm 0,6$)	
8. 547,2±0,5	1,8±0,2	-
9. 554,9±0,5	3,8±0,4	-
10. 694,5±0,5	30,6±3,1	32±4
11. 936,0±0,5 ^{a)}	1,7±0,4	-
12. 1153,0±0,5	75,0±7,6	-
13. 1293,0±0,5	2,7±0,4	-
14. 1629±1 ^{a)}	2,4±0,4	-
15. 1660±1 ^{a)}	2,7±0,5	-
16. 1949±1 ^{a)}	1,5±0,4	-
17. 2564±1 ^{a)}	1,7±0,6	-
18. 2684±1 ^{a)}	3,4±0,7	-

а) Переходы не размещены в схеме распада.

б) Фотопики, соответствующие гамма-лучам с энергиями 259,5 кэВ и 1293,0 кэВ, обусловлены эффектом суммирования каскадных гамма-квантов (119,7 кэВ + 139,8 кэВ) и (139,8 кэВ + 1153,0 кэВ), соответственно.

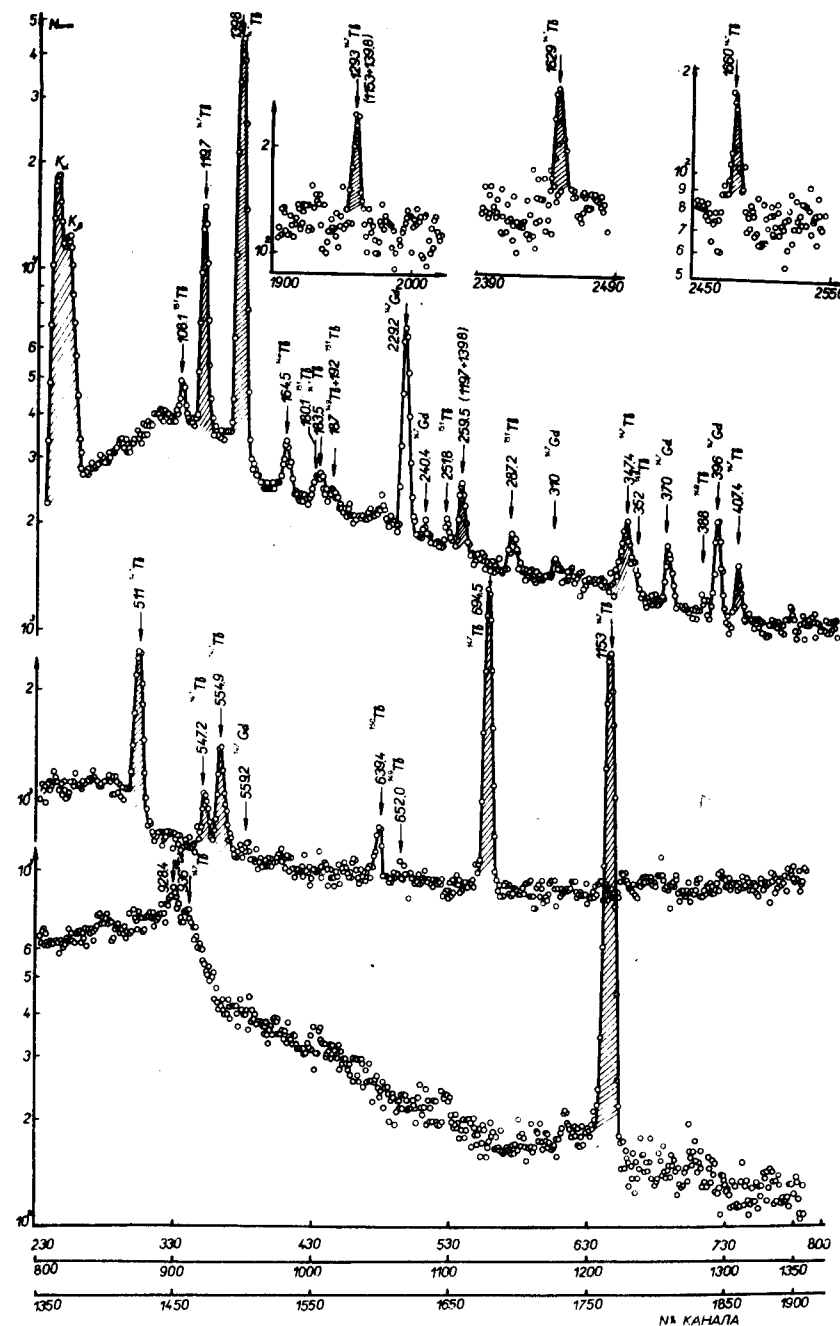


Рис. 1. Участки спектра гамма-лучей при распаде ^{147}Tb .

3. Схема распада $^{147}\text{Tb} \rightarrow ^{147}\text{Gd}$ и обсуждение результатов

На рис. 2 представлен вариант схемы распада $^{147}\text{Tb} \rightarrow ^{147}\text{Gd}$. Наблюдение в спектре гамма-лучей ^{147}Tb фотопиков, обусловленных эффектом суммирования каскадных гамма-лучей (119,7+139,8) и (139,8+1153,0) кэВ, позволило однозначно ввести уровни с энергиями 1153,0; 1292,8 и 1412,5 кэВ ядра ^{147}Gd .

В схеме распада не размещен ряд переходов, суммарная интенсивность которых не превышает 20%.

Гамма-лучи с энергией 1153,0 кэВ значительно интенсивнее всех других гамма-лучей, возникающих при распаде ^{147}Tb , поэтому естественно предположить, что переход с энергией 1153,0 кэВ отвечает за разрядку первого возбужденного уровня в ядре ^{147}Gd .

На схеме распада (рис. 2) приведены также проценты заселения уровней ^{147}Gd при бета-распаде ^{147}Tb и соответствующие значения $I^{\pi} (\epsilon, \beta^+) \% \lg ft$. Очевидно, что при составлении баланса интенсивностей были трудности из-за незнания мультипольности переходов с энергиями 119,7 и 139,8 кэВ. В проведенном расчёте принято, что мультипольности переходов с энергиями 119,7 и 139,8 кэВ типа M1 и E2, соответственно.

Предполагая, что гамма-лучи с энергией 511 кэВ обусловлены аннигиляцией позитронов, мы определили долю последних на распад ^{147}Tb . При расчёте интенсивности позитронов использовался коэффициент счёта аннигиляционных гамма-квантов 1,8, который получен экспериментально при измерении спектра гамма-лучей при распаде $^{56}\text{Co} /10/$. Интенсивность позитронов составляет (5,6±0,6)% на распад ^{147}Tb .

Известно, что при распаде $^{145}\text{Eu}_{82} /11/$ 75% позитронного распада ведет к заселению основного состояния ^{145}Sm и только 25% -

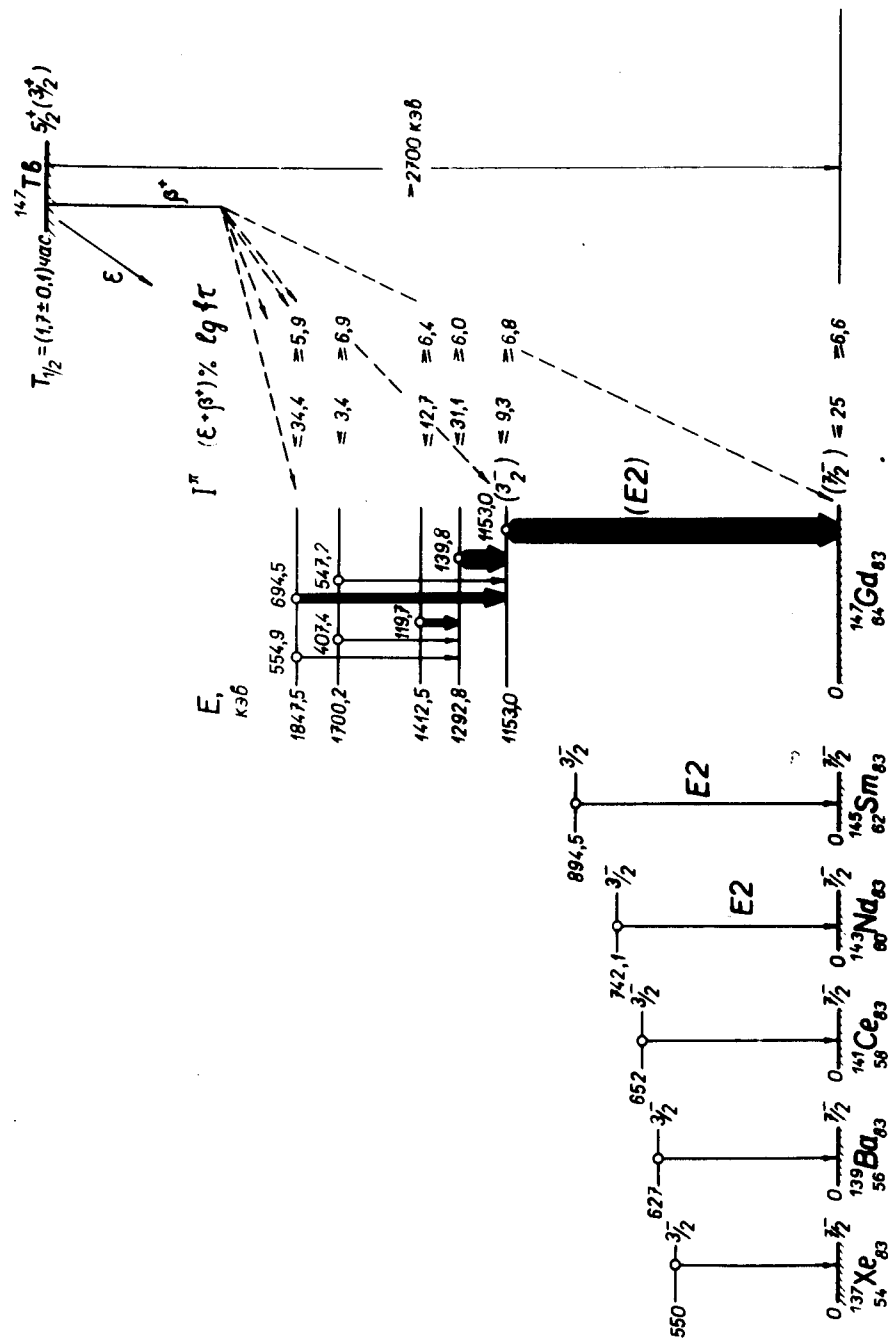


Рис. 2. Схема возбужденных уровней $^{147}\text{Gd}_{83}$ и первые возбужденные состояния соседних ядер с $N = 83$.

к заселению первого возбужденного уровня с энергией 894 кэВ ($3/2^-$). Исходя из баланса интенсивностей переходов в $^{147}_{64}\text{Gd}_{83}$ и наблюдаемого заселения уровней $^{145}_{62}\text{Sm}_{83}$ при позитронном распаде ^{145}Eu , можно предположить, что при распаде $^{147}\text{Tb} \rightarrow ^{147}\text{Gd}$ основная доля позитронных распадов ведет к заселению основного состояния ^{147}Gd . Предполагая, что при позитронном распаде ^{147}Tb заселяется только основное состояние ^{147}Gd , мы оценили энергию бета-распада ^{147}Tb . Из полученного при этом предположении отношения $K/\beta^+ \leq 5,0$ следует, что граничная энергия позитронов для разрешенного бета-перехода должна быть больше 1500 кэВ, следовательно, разность масс $^{147}\text{Tb} - ^{147}\text{Gd}$ будет больше 2500 кэВ. С другой стороны, наблюдение гамма-лучей с энергией 2684 кэВ указывает, что разность масс $^{147}\text{Tb} - ^{147}\text{Gd}$ больше 2700 кэВ. При расчёте значений $lg ft$ величина разности масс $^{147}\text{Tb} - ^{147}\text{Gd}$ принята равной 4060 кэВ ^{/12,13/}.

Как указывалось выше, в работе ^{/3/} не было обнаружено гамма-лучей с энергией 1153,0 кэВ ($I_\gamma = 75\%$ на распад ^{147}Tb). Этот факт и явился, по-видимому, причиной ошибочных выводов о квантовых характеристиках основного состояния ^{147}Tb и о значении разности масс $^{147}\text{Tb} - ^{147}\text{Gd}$.

Экспериментальных данных, позволяющих определить квантовые характеристики введенных в схему распада уровней ^{147}Gd , нет. Однако можно предположить, что характеристики основного и первого возбужденного состояния ^{147}Gd будут такими же как у соседних чётно-нечётных ядер с $N = 83$. На рис. 2 для сравнения со схемой уровней ^{147}Gd приведены также первые возбужденные состояния ядер $^{137}_{54}\text{Xe}_{83}$ ^{/14/}, $^{139}_{56}\text{Ba}_{83}$ ^{/15/}, $^{141}_{58}\text{Ce}_{83}$ ^{/16/}, $^{143}_{60}\text{Nd}_{83}$ ^{/17,18/} и $^{145}_{62}\text{Sm}_{83}$ ^{/11,19/}. Спин и чётность первого возбужденного состояния для всех указанных ядер $I^\pi = 3/2^-$, а для основного состояния — $I^\pi = 7/2^-$. Вероятно, что уровень ^{147}Gd с энергией 1153,0 кэВ так-

же будет иметь спин и чётность $3/2^-$, а основное состояние — $7/2^-$, что согласуется также с предсказанием оболочечной модели ядра.

На основании оценок величин $lg ft$, сравнения с соседними нечётно-нечётными ядрами $^{141}_{59}\text{Pr}_{82}$, $^{143}_{61}\text{Pm}_{82}$, $^{145}_{63}\text{Eu}_{82}$ ^{/20,21/}, а также предсказаний оболочечной модели ядра основному состоянию ^{147}Tb следует приписать квантовые характеристики $I^\pi = 5/2^+(3/2^+)$.

Ядро $^{147}_{64}\text{Gd}_{83}$ имеет один нейтрон над замкнутой оболочкой $N = 82$, а 64-й протон замыкает подоболочку $2d_{5/2}$. Поэтому можно было ожидать, что предсказания оболочечной модели об энергетических состояниях этого ядра будут лучше соответствовать экспериментальным результатам, чем в случае ядер с большим числом нейтронов над замкнутой оболочкой $N = 82$. В связи с этим исследование возбужденных состояний ^{147}Gd , а также соседних чётно-нечётных ядер с $N = 83$, представляет большой интерес. Однако данные, полученные при исследовании лишь гамма-излучения при распаде ^{147}Tb , не позволяют пока сделать более определенных выводов о природе возбужденных состояний ^{147}Gd .

В заключение авторы приносят искреннюю благодарность доктору физико-математических наук К.Я. Громову за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения результатов, Р. Арльту, В.И. Фоминых и В.И. Райко за помощь при проведении исследований.

Л и т е р а т у р а

1. K.S. Toth, J.O. Rasmussen. J. Inorg.Chem., 12, 236 (1960).
2. 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.

3. Y.Y. Chu, E.M. Franz, G. Friedlander. Phys.Rev.Lett., 23,A21, 1969; Phys.Rev., 187, 1529 (1969).
4. Б.К. Преображенский, О.М. Лилова, А.Н. Добронравова, Е.Д. Тетерин. ЖНХ, 1, 2294, 1956.
5. М.П. Авотина, Е.П. Григорьев, А.В. Золотавин, В.О. Сергеев, Р. Арльт, Г. Музиоль, Х. Штрусный. Известия АН СССР, сер. физ., 33, 2042 (1969).
6. L.V. Magnusson. Phys.Rev., 107, 161 (1957) .
7. P. Alexander, F. Boehm. Nucl.Phys., 46, 108 (1963).
8. а) К.Я. Громов, Б.М. Сабиров, Я.Я. Урбанец. Изв. АН СССР, сер. физ., 33, 1646, 1969.
б) E.W.A. Lingeman, J. Conijn, P. Polak, A.H. Wapstra. Nucl.Phys., Nucl.Phys., A133, 630 (1969).
9. Б.С. Желепов, Л.К. Пекер. "Схемы распада радиоактивных ядер", $A < 100$, стр. 149, Изд. "Наука", М.-Л, 1966.
10. а) Р.Н. Barker, R.D. Connor. Nucl.Instr. and Meth., 57, 147(1967).
б) K.W. Dolan, D.K. McDaniels, D.O. Wells. Phys.Rev., 148, 1151 (1966).
11. К.Я. Громов, Ж. Желев, В.В. Кузнецов, Ма Хо Ик, Г. Музиоль, Хань Шу-Жунь. Программа и тезисы докладов XV ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. стр. 51. Изд. "Наука", М.-Л, 1965.
12. W.D. Myers, W.J. Swiatecki. UCRL-11980, 1965.
13. S. Liran, N. Zeldes. Nucl.Phys., A136, 190 (1969).
14. P.A. Moore, P.J. Riley, C.M. Jones, M.D. Mancusi, J.L. Foster Jr. Phys.Rev., 180, 1213 (1969). Phys.Rev., 175, 1516 (1968).
15. H. Seitz, D. Rieck, P. Von Brentano, J.P. Wurm, S.A.A. Zaidi. Nucl.Phys., A140, 673 (1970).
16. L. Veese, W. Haerberli. Nucl.Phys., A115, 172 (1968).
17. G. Clausnitzer, R. Fleischmann, G. Graw, D. Proetel, J.P. Wurm. Nucl.Phys., A106, 99 (1968).
18. М.П. Авитина, Е.П. Григорьев, А.В. Золотавин, В.О. Сергеев, М.И. Совцов, Ю.Н. Лукин, Я. Врзал, Я. Липтак, Я. Урбанец. Программа и тезисы докладов XVII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, стр. 66, Изд. "Наука", М.-Л, 1968.
19. S. Fiarman, E.J. Ludwig, L.S. Michelman, A.B. Robbins. Nucl.Phys., A131, 267 (1969).
20. Nucl.data tables, A5, № 5-6, 1969.
21. В.Н. Wildenthal, E. Newman, R.L. Auble. Phys.Letters, 27B, 628 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел
3 июня 1970 года.