

С 341, 16

A-828

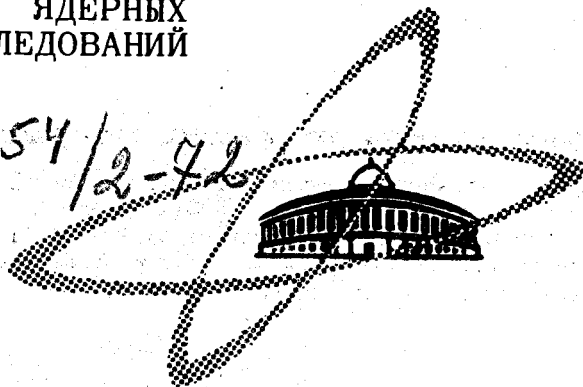
24/ч-72

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6 - 6285

1354 / 2-72



Р.Арлыт, Г.Байер, К.Я.Громов, Г.Музиоль,  
Х.Г.Ортлепп, Х.Тыррофф, З.А.Усманова,  
Х.Штрусный, Э.Херрманн

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА  $^{133}\text{Pr}$  (6,5 мин)

1972

P6 - 6285

Р.Арльт, Г.Байер, К.Я.Громов, Г.Музиоль,  
Х.Г.Ортлепп, Х.Тыррофф, З.А.Усманова,  
Х.Штрусный, Э.Херрманн

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА <sup>133</sup>Pg (6,5 мин)

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Арлт Р., Байер Г., Громов К.Я., Музиоль Г.,  
Ортлепп Х.Г., Тыррофф Х., Усманова З.А.,  
Штрусный Х., Херрманн Э.

P6-8285

Исследование распада  $^{133}\text{Pr}$  (6,5 мин)

Исследовалась схема распада  $^{133}\text{Pr} \rightarrow ^{133}\text{Ce}$  на сепарированных по массам источниках. Определены КВК ряда гамма-переходов в ядре  $^{133}\text{Ce}$ , предложен первый вариант схемы распада  $^{133}\text{Pr} \rightarrow ^{133}\text{Ce}$ .

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна, 1972

Arlt R., Beyer G., Gromov K.Ya.,  
Musiol G., Ortlepp H.G., Tyrroff H.,  
Usmanova Z.A., Strusny H., Herrmann E.

P6-6285

Investigation of the Decay of  $^{133}\text{Pr}$  (6.5 min)

The decay scheme  $^{133}\text{Pr} \rightarrow ^{133}\text{Ce}$  has been investigated using mass-separated sources. The internal conversion coefficients of a number of  $\gamma$ -transitions in the  $^{133}\text{Ce}$  nucleus have been determined. The first version of the decay scheme  $^{133}\text{Pr} \rightarrow ^{133}\text{Ce}$  was suggested.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1972

## 1. Введение

Изотоп  $^{133}\text{Pr}$  был впервые обнаружен в работе Абдуразакова и др.<sup>/1/</sup>. Было установлено, что при распаде  $^{133}\text{Pr}$  возникают гамма-лучи с энергиями 133, 241 и 310 кэВ. Уже тогда было ясно, что распад  $^{133}\text{Pr}$  сопровождается значительно большим числом гамма-переходов, однако уверенная идентификация их была невозможна, так как в качестве источника использовалась сумма изотопов празеодима, образовавшихся при облучении мишени протонами с энергией 660 МэВ и выделенных химически. Используемые в<sup>/1/</sup> источники содержали большие примеси изотопов  $^{134-139}\text{Pr}$ .

В настоящей работе продолжены исследования распада  $^{133}\text{Pr}$  с использованием электромагнитного сепаратора изотопов. Эта работа является частью исследований свойств удаленных от полосы бета-стабильности ядер в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ (программа ЯСНАПП). Изучение возбужденных состояний нейтронодефицитных изотопов в области церия - празеодима представляет интерес, так как есть указания на то, что здесь имеются ядра, отдельные возбужденные состояния которых обладают сильно различающимися величинами деформации. Это обстоятельство может приводить к эффектам изомерии формы<sup>/2-4/</sup>.

## 2. Изготовление источников

Источники  $^{133}\text{Pr}$  были получены методом, аналогичным описанному в<sup>/5/</sup>: мишень  $(\text{NH}_4)_2[\text{Gd}(\text{ДТРА})\text{H}_2\text{O}]$  облучалась на выведенном пучке протонов с энергией 660 МэВ и интенсивностью  $\approx 10^{11}$  р/сек см<sup>2</sup> в течение 15 минут. Продукты реакции глубокого расщепления гадолиния выделялись из мише-

ДТРА - диэтиленetriаминпентауксусная кислота

ни и разделялись по элементам. Затем производилось разделение фракции празеодима на масс-сепараторе<sup>/6,7/</sup>. Время от конца облучения мишени до начала исследований спектров излучения - 25 минут. Выход процессов химического и изотопного разделения составлял  $\approx 25\%$ . Примеси  $^{134}\text{Pr}$  в источниках  $^{133}\text{Pr}$  составляли не более 0,1%. Источники  $^{133}\text{Pr}$  содержали, естественно, значительное количество дочерней активности  $^{133}\text{Ce}$ .

### 3. Измерительная техника и результаты экспериментов

Измерения гамма-спектров и спектров конверсионных электронов производились при помощи полупроводниковых детекторов:  $\text{Si(Li)}$  - детектора с толщиной чувствительного слоя 1 мм и  $\text{Ge(Li)}$  - детекторов с чувствительными объемами 1,8; 28 и 38,5 см<sup>3</sup>. Полученные спектры обрабатывались с помощью ЭВМ СДС 1604 А. Для изучения гамма-гамма-совпадений использовалась установка, состоящая из сцинтилляционного счётчика с кристаллом  $\text{NaI(Tl)}$  ( $\phi$  4x4 см<sup>3</sup>) и фотоумножителем ФЭУ-36 и  $\text{Ge(Li)}$  - детектора (28 см<sup>3</sup>). Для точного определения периода полураспада  $^{133}\text{Pr}$  по спаду интенсивности позитронного излучения применялся пропорциональный счётчик. Более подробное описание измерительной аппаратуры и методов обработки полученных данных можно найти в /5,8,9/.

Спектры гамма-лучей и конверсионных электронов  $^{133}\text{Pr}$  представлены на рис. 1 и 2. В таблицах 1 и 2 даны результаты обработки этих спектров. Измеренный период полураспада  $^{133}\text{Pr}$  равен  $T_{1/2} = 6,5 \pm 0,3$  мин. Коэффициенты внутренней конверсии гамма-лучей определены на основе одновременного измерения спектров гамма-лучей и конверсионных электронов (см. /5/). При изучении гамма-гамма-совпадений было установлено, что гамма-лучи с энергией 134,3 кэВ совпадают с гамма-лучами 330,8; 362,6 и частично с 315,6 кэВ (интенсивности в спектре совпадений  $\approx 20\%$ , соответственно). Жершель и др.<sup>/10,11/</sup> установили, что существуют изомерные состояния  $^{133}\text{Ce}$  с периодом полураспада  $T_{1/2} = 97$  мин и  $T_{1/2} = 5,8$  час. Из наших исследований следует, что при распаде  $^{133}\text{Pr}$  ( $T_{1/2} = 6,5$  мин) образуется только, или главным образом, состояние  $^{133}\text{Ce}$  с  $T_{1/2} = 97$  мин.

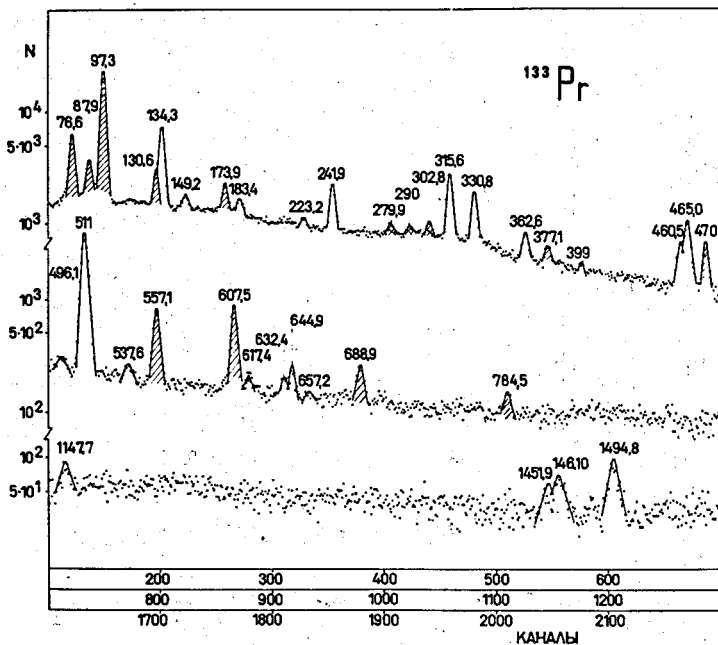


Рис. 1. Спектр гамма-лучей, возникающих при распаде  $^{133}\text{Pr}$ ,  $^{133}\text{Ce}$  96 мин,  $^{133}\text{La}$ , снятый при помощи гамма-спектрометра с  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором (объем  $38,5 \text{ см}^3$ ). (Заштрихованные переходы относятся к распаду  $^{133}\text{Ce}$ ).

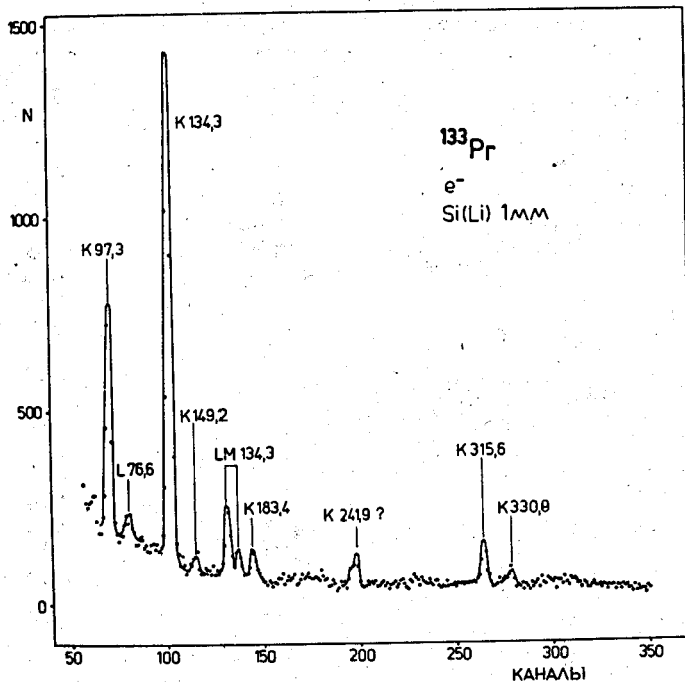


Рис. 2. Спектр конверсионных электронов, возникающих при распаде  $^{133}\text{Pr}$  6,5 мин  $\xrightarrow{^{133}\text{Ce}}$  96 мин  $\xrightarrow{^{133}\text{La}}$  . Si(Li) -детектор - 1 мм x 50 мм<sup>2</sup>.

Таблица I

Энергии и относительные интенсивности гамма-лучей  
при распаде  $^{133}\text{Pr}$   $\xrightarrow{6,5 \text{ мин}}$   $^{133}\text{Ce}$

$E_{\gamma}$ кэВ	$I_{\gamma}$ отн. ед.	$E_{\gamma}$ кэВ	$I_{\gamma}$ отн. ед.
74	74	814,4	слаб.
134,3	100	826,2	2,8
149,2	8	834,8	2,0
183,4	3,5	839,8	1,0
223,2	5,0	843,7	1,4
241,9	40	853,6	3,2
276,7	6,4	887,9	слаб.
315,6	85	898,0	1,3
330,8	двойная 45	972,4	1,3
362,6	12	976,3	2,5
370,8	2,2	1046,8	1,4
436,1	2,2	1147,7	2,5
460,5	17	1320,9	1,4
465,0	50	1323,3	0,9
487,3	1,4	1343,5	1,8
496,1	5,5	1406,5	1,4
511	175	1451,9	1,9
522,5	1,1	1461,0	3,2
530,7	1,4	1494,8	7,8
537,6	5,3	1625,6	1,8
617,4	3,5	1639,1	1,4
621,0	слаб.	1803,3	3,2
644,9	10	1812,5	2,8
657,2	1,4	1831,2	3,5
700,6	1,9	1864,1	5
704,7	2,0	1875,5	4,2
779,6	1,5	1949,7	2,2
		2021,1	0,7



Таблица 2

Коэффициенты и мультипольности некоторых гамма-переходов  
 $^{133}\text{Pr}$   
 при распаде

$E_{\gamma}$ (кэВ)	$\alpha \pm \Delta \alpha$	K/L / M	Мультипольность
134,3	$0,37 \pm 0,08$	I/0, I33/0,046	M1
149,2	$0,26 \pm 0,12$		E2, M1
183,4	$\sim 0,2$		—
241,9	$0,047 \pm 0,015$		E2, M1
315,6	$0,037 \pm 0,012$		E2, M1
330,8	$0,027 \pm 0,009$		E2, M1

#### 4. Схема распада $^{133}\text{Pr} - ^{133}\text{Ce}$

Схема распада  $^{133}\text{Pr} \rightarrow ^{133}\text{Ce}$ , предлагаемая на основе результатов настоящих исследований, представлена на рис. 3. Гамма-переход с энергией 134,3 кэВ наиболее интенсивный при распаде  $^{133}\text{Pr}$  и поэтому он, очевидно, идет с уровня с той же энергией в основное состояние. Совпадения гамма-лучей 134,3 кэВ с гамма-лучами 330,8 и 362,6 кэВ определяют уровни с энергиями 465,0 и 496,5 кэВ. Так как совпадения 134,3 - 315,6 кэВ значительно слабее, чем этого следовало бы ожидать, пока трудно сказать, с чем связаны эти совпадения. Возможно, что гамма-пик 315,6 кэВ - сложный (например, двойной) или совпадения возникают в результате не прямого каскада. Другие уровни введены на основе баланса энергий и интенсивностей гамма-переходов.

Как видно из таблицы 1, интенсивность позитронов, возникающих при распаде  $^{133}\text{Pr}$  (6,5 мин), не очень велика: она меньше интенсивности гамма-лучей 134,3 кэВ. В наших условиях гамма-спектрометр регистрировал примерно 1,8 аннигиляционных квантов на один позитрон. Энергия распада  $^{133}\text{Pr}$  велика:  $Q = 4,9 \text{ МэВ}^{12/}$ . Отношение интенсивностей электронного захвата и позитронного распада при энергии позитронов 3,9 МэВ равно  $K/\beta^+ = 0,19$ . Все это позволяет предположить, что интенсивность распада  $^{133}\text{Pr}$  на уровень с нулевой энергией на рис. 3 невелика по сравнению, например, с гамма-лучами 134,3 кэВ, то есть распад идет, главным образом, на возбужденные состояния. Мы оценили значения  $\log ft$  для бета-распада  $^{133}\text{Pr}$  (6,5 мин), условно предполагая, что распад идет только на возбужденные состояния. Получены следующие значения: 74 кэВ -  $\log ft < 6,6$ ; 134,3 кэВ -  $\log ft = 5,9$ ; 496,5 кэВ - 6,6; 972,4 кэВ - 6,1.

Как было указано выше, существуют два изомерных состояния  $^{133}\text{Ce}$  с  $T_{1/2} = 96$  мин и  $T_{1/2} = 5,8$  час. Однако нет никаких прямых экспериментальных данных о разности энергий и взаимном расположении этих состояний. В работах Жершель и др.<sup>10,11/</sup> утверждалось, что состояние с  $T_{1/2} = 5,4$  часа - основное в  $^{133}\text{Ce}$  и имеет спин и четность  $1/2^+$  и состояние с  $T_{1/2} = 96$  мин - изомерное с  $I^\pi = 9/2^-$ . Однако Бабаджанов и др.<sup>19/</sup> на основе измерения времен жизни возбужденных состояний в ядре  $^{133}\text{La}$  пришли к выводу, что состояние с  $T_{1/2} = 96$  мин в ядре  $^{133}\text{Ce}$  имеет

$I^\pi = 1/2^+$ , а состояние с  $T_{1/2} = 5,4$  часа —  $I^\pi = 9/2^-$ . Эти обстоятельства затрудняют анализ схемы распада  $^{133}\text{Pr}$ . Так, если принять, как и в [13], что состояние  $^{133}\text{Ce}$  с  $T_{1/2} = 96$  мин имеет  $I^\pi = 1/2^+$ , то на основе систематики энергетического интервала между состояниями  $2d_{3/2}$  и  $3s_{1/2}$  в нечётных ядрах вблизи  $Z = 58$ , а также из-за мультипольности гамма-перехода 134,3 кэВ можно сделать заключение, что уровень с энергией 134,3 кэВ на рис. 3 связан с состоянием  $2d_{3/2}$ . Из значения  $\log ft = 5,9$  для бета-распада на этот уровень следует, что основное состояние  $^{133}\text{Pr}$  (6,5 мин) имеет спин и чётность  $I^\pi = 5/2^+$ .

С другой стороны, если выводы, сделанные в работах Жершель и др. [10,11], правильны, то состояние в ядре  $^{133}\text{Pr}$  с  $T_{1/2} = 6,5$  мин должно иметь отрицательную чётность и  $I > 5/2$ .

Авторы глубоко признательны В.И. Райко, В.А. Быстрову, коллективу измерительного центра ЛЯП ОИЯИ, Б.Ю. Семенову, Б.П. Осипенко и М.Е. Глушковскому за большую помощь при проведении описанных выше экспериментов.

#### Литература

1. А.А. Абдуразаков, Р. Арльт, Р. Бабаджанов, Г. Байер, В.А. Морозов, Г. Музиоль, Х. Тыррофф, Х. Штрусный. Изв. АН СССР, сер. физ., т.34, 786 (1970).
2. D.A. Arseniev, A. Sobiczewski, V.G. Soloviev. Nucl. Phys. A126, 15, (1969).
3. T.W. Conlon. Nucl. Phys. A161, 289, (1971).
4. M.A. Delelanque, C. Gerschel, N. Perrin et al. C.R. ACAD. SCIENCE, 273B, 565, (1971).
5. Р. Арльт, Г. Байер, В.А. Морозов, Г. Музиоль, Т.М. Муминов, Х. Тыррофф, Х. Штрусный, З.А. Усманова, В.И. Фоминых, Х. Фуя, А.Б. Халикулов, Э. Херрманн. Препринт ОИЯИ, Р6-6217, Дубна, 1972.
6. G. Beyer, E. Herrmann, A. Piotrowski, V.I. Raiko, H. Tyrroff. Nucl. Instr. a. Meth. 96, 437, (1971).
7. Г. Музиоль, В.И. Райко, Х. Тыррофф. Препринт ОИЯИ Р6-4487, Дубна, 1969.
8. Р. Арльт, Г. Вингер, С.В. Медведь, Г. Музиоль, А.Н. Синаев, З.А. Усманова, Д. Фромм, Н.А. Чистов, Х. Штрусный. Препринт ОИЯИ Р6-6224, Дубна, 1972.

9. А.И. Василенко, И. Махунка, З. Матэ, И. Надь, В.М. Сороко, Н.С. Станчева, С.М. Станчев, В.А. Уткин, Т. Фенеш. Препринт ОИЯИ, Р6-5888, Дубна, 1971.
10. C.Gerschel. Nucl. Phys. A108, 337, (1968).
11. C.Gerschel, G.Albony. C.R.ACAD. SCIENCE 264B,183,(1967).
12. P.A.Seeger. Nucl.Phys. 25, 1, (1961).
13. Р. Бабаджанов, В.А. Морозов, Т.М. Муминов, В.И. Разов, А.Б. Халикулов. Препринт ОИЯИ Р6-5200, Дубна, 1970.
14. С. Ekstrom et al., Nucl.Phys. To be published.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 февраля 1972 года.

Примечание при корректуре

Как показывают предварительные результаты группы Линдгрена по измерению спина основных состояний ряда изотопов Pr и Nd /14/, спин основного состояния  $^{133}\text{Pr}$  имеет значение  $l = 5/2$ .