

6651

ЭКСП. ЧИТ. ЗАЛ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P6 - 6651

В.С.Бутцев, К.Я.Громов, В.Г.Калинников,  
В.А.Морозов, Т.М.Мунинов, А.Б.Халикулов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

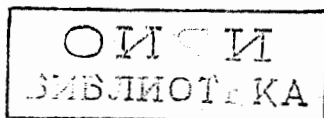
ЗАСЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ  $^{137}\text{Ce}$   
ЭЛЕКТРОННЫМ ЗАХВАТОМ  
И ЭМИССИЕЙ ПОЗИТРОНОВ  
ПРИ РАСПАДЕ  $^{137}\text{Pr}$

1972

В.С.Бутцев, К.Я.Громов, В.Г.Калинников,  
В.А.Морозов, Т.М.Муминов, А.Б.Халикулов

ЗАСЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ  $^{137}\text{Ce}$   
ЭЛЕКТРОННЫМ ЗАХВАТОМ  
И ЭМИССИЕЙ ПОЗИТРОНОВ  
ПРИ РАСПАДЕ  $^{137}\text{Pr}$

Направлено в Изв. АН СССР



Заселение уровней  $^{137}\text{Ce}$  электронным захватом и эмиссией позитронов при распаде  $^{137}\text{Pr}$ .

Исследовано излучение  $^{137}\text{Pr}$ , полученного в реакции глубокого расщепления гадолиния быстрыми протонами ( $E_p = 660$  Мэв). Измерены с большой точностью энергии и интенсивности 120  $\gamma$ -переходов. Установлены типы мультипольностей ряда переходов. Определена граничная энергия испускаемых позитронов ( $1680 \pm 10$  кэв). В предлагаемую схему введены новые уровни: 1105,2; 1258,9; 1271,5; 1288,5; 1476,6; 1925,2; 1933,9; 2113,4; 2347,2; и 2480,0 кэв. Существование уровней подтверждается  $\gamma\gamma$ -совпадениями. Измерено время жизни состояния 160,32 кэв ( $T_{1/2} = 0,79 \pm 0,14$  нсек).

Препринт Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна, 1972

Butsev V.S., Gromov K.Ya., Kalinnikov V.G., P6-6651  
Morozov V.A., Muminov T.M., Khalikulov A.B.

$^{137}\text{Ce}$  Level Population by Electron Capture  
and Positron Emission at  $^{137}\text{Pr}$  Decay

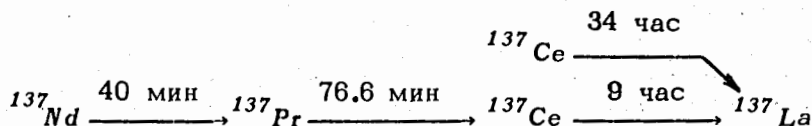
It is studied the  $^{137}\text{Pr}$  radiation produced in the reaction of deep splitting of gadolinium by fast protons ( $E_p = 660$  MeV). The energies and intensities of 120  $\gamma$ -transitions are measured with great accuracy. The multipole types are determined for a number of transitions. The maximum energy of emitted positrons is determined to be ( $1680 \pm 10$  keV). To the scheme suggested there are introduced new levels: 1105.2; 1258.9; 1271.5; 1288.5; 1476.6; 1925.2; 1933.9; 2113.4; 2347.2 and 2480.0 keV. The existence of the levels is proved by  $\gamma\gamma$ -coincidences. The life-time of 160.32 keV state is measured ( $T_{1/2} = 0.79 \pm 0.14$  nsec).

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1972

## I. Введение

Настоящая работа составляет часть программы исследования нейтронодефицитных ядер  $Nd$ ,  $Pr$  и  $Ce$ . Такие ядра являются переходными между "магическими" с  $N=82$ ,  $Z > 50$  и ядрами в так называемой "новой" области деформации /легкие изотопы  $Ba$ ,  $La$ ,  $Ce$ /. Некоторые свойства "магических" ядер объясняются моделью оболочек. Для объяснения свойств ядер с  $N < 82$  становится необходимым включать в потенциал модели оболочек "остаточное" взаимодействие между нуклонами  $^{11-3/}$ . Помимо одночастичных состояний в ядрах с нечетным  $A$  модели предсказывают также трехквази-частичные и коллективные состояния.

Мы изучали свойства нуклидов с массовым числом  $A=137$ , генетически связанных радиоактивным распадом:



Большой объем экспериментальных сведений, полученных нами об этой "цепочке" изотопов, не укладывается в рамки одного сообщения.

Нам представляется возможным в настоящий момент сообщить о распаде  $^{137}Pr$  и о возбуждаемых при этом распаде уровнях  $^{137}Ce$ .

Ранее  $^{4-7/}$  сообщались сведения о распаде  $^{137}Pr$ . К моменту начала наших исследований было известно, что:

1. Период полураспада  $^{137}Pr$  составляет  $76,62 \pm 1,54$  мин /по  $\gamma$  836/ и  $74,92 \pm 0,16$  мин /по  $\gamma$   $^{+/-7/}$ .
2. Распад  $^{137}Pr$  сопровождается испусканием позитронов с граничной энергией  $1700 \pm 30$  кэВ  $^{6/}$ ,  $1740 \pm 50$  кэВ  $^{7/}$  и отношением ветвей  $k/\beta^+ = 2,05 \pm 0,30$   $^{4/}$ ,  $2,5 \pm 0,2$   $^{7/}$ .

3. К распаду  $^{137}\text{Pr}$  было отнесено 30 гамма-переходов.

4. Ван Хизе и др. /7/ предложили схему распада  $^{137}\text{Pr} \rightarrow ^{137}\text{Ce}$ , уровни в которой обосновывались измерением  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений.

Однако имевшихся сведений было недостаточно для анализа свойств возбужденных состояний  $^{137}\text{Ce}$  и к тому же между экспериментальными данными имелись некоторые разногласия.

Выполненные нами всесторонние исследования спектров  $\gamma$ -лучей, электронов внутренней конверсии, позитронного излучения,  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений, а также измерение времени жизни первого возбужденного уровня  $^{137}\text{Ce}$  позволили нам сконструировать более полную схему распада  $^{137}\text{Pr}$  и идентифицировать природу некоторых уровней  $^{137}\text{Ce}$ .

## II. Эксперимент

### 2.1. Приготовление источников

Изотоп  $^{137}\text{Pr}$  получался в реакции глубокого расщепления Gd быстрыми протонами /  $E_p = 660$  Мэв/. Мишень из металлического гадолиния весом 2 г облучалась в течение 2 часов на внутреннем пучке протонов синхроциклотрона ОИЯИ /интенсивность пучка  $\sim 10^{14}$  протон/сек/. Мишень в форме порошкообразного комплекса  $(\text{NH}_4)_2 [\text{GdDTPA}]$  весом 0,5-0,7 г облучалась в течение 20 мин на выведенном пучке протонов /интенсивность  $4 \cdot 10^{11}$  пр/сек/.

Радиохимически из облученных мишеней выделялись продукты расщепления и методом хроматографии<sup>/8/</sup> приготавливалась фракция изотопов празеодима. С помощью электромагнитного сепаратора<sup>/9,10/</sup> из фракции выделялся изотоп  $^{137}\text{Pr}$ . Ионы  $^{137}\text{Pr}$  собирались на алюминиевую или майларовую подложку толщиной 15-20 мкм и 5-10 мкм, соответственно. Такие подложки с пятном радиоактивности размером 1,5x10 мм служили источником для спектрометров с полупроводниковыми  $\text{Ge}(\text{Li})$ - и  $\text{Si}(\text{Li})$ -детекторами, а также для измерения  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений.

Для измерения времени жизни использовался масс-сепарированный источник изотопа  $^{137}\text{Nd}$ , полученный по аналогичной с источником  $^{137}\text{Pr}$  методике. Измерения начинались через 2,5 часа после конца сепарирования, к этому времени активность источника, в основном, обуславливалась распадом дочернего  $^{137}\text{Pr}$ .

Исследования спектров электронов внутренней конверсии и позитронов выполнялись и на магнитных бета-спектрометрах с источ-

никами, приготовленными из фракции  $Pr$ . Активность наносилась на платиновую проволочку диаметром 0,1 мм электролитическим осаждением<sup>/11/</sup>, либо выпаривалась на алюминиевую подложку.

## 2.2. Измерение $\gamma$ -лучей

Спектры  $\gamma$ -лучей были измерены на спектрометрах с  $Ge(Li)$ -детекторами коаксиального типа объемом 10, 27 и 40 см<sup>3</sup>. Энергетическое разрешение спектрометров составляло, соответственно, 2,2, 2,9 и 2,5 кэВ на  $\gamma$ -линиях  $^{60}Co$ .

Измерительная техника и методика обработки спектров описаны в<sup>/12,13/</sup>.

Идентификация  $\gamma$ -лучей производилась по периоду убывания их интенсивности. Контролировалось присутствие в источниках в качестве примесей  $^{137}Nd$  и  $^{138}Pr$ .

К распаду  $^{137}Pr$  отнесено около 120  $\gamma$ -переходов. Энергии и интенсивности  $\gamma$ -лучей приведены в табл. 1. Представленный на рис. 1 спектр  $\gamma$ -лучей нами измерен с гораздо лучшим, чем в<sup>/7/</sup> разрешением. Это позволило обнаружить около 80 ранее неизвестных переходов, в том числе довольно интенсивные переходы с  $E_{\gamma} = 1096,9; 1105,2; 1110,9; 1125,0; 1180,0; 1679,8$  кэВ и др.

Использование спектрометра рентгеновских лучей с  $Ge(Li)$ -детектором объемом 0,5 см<sup>3/14/</sup> позволило нам однозначно установить наличие в спектре /рис. 2/ перехода 514,0 кэВ и с большой точностью определить его интенсивность.

## 2.3. Электроны внутренней конверсии /ЭВК/

Исследование спектра ЭВК выполнялось на магнитных бета-спектрометрах с фокусировкой пучка на угол  $\pi\sqrt{2}$  и  $2\pi\sqrt{2}$ , бета-спектрографах с однородным магнитным полем, а также бета-спектрометре с однородным магнитным полем, выполненном на базе  $Si(Li)$ -детектора<sup>/15/</sup>. Разрешение спектрометров типа  $\pi\sqrt{2}$  и  $2\pi\sqrt{2}$  составляло, соответственно, 0,15 и 0,25%,  $\beta$ -спектрографов - 0,06%, а спектрометра с  $Si(Li)$ -детектором - 2,5-3,0 кэВ в области энергии до 400 кэВ.

В табл. 2 приведены результаты исследований ЭВК  $^{137}Pr$ . Здесь же указаны установленные нами типы мультипольностей ряда переходов. Выводы о мультипольностях сделаны на основании сравнения теоретических и экспериментальных значений  $a_k$ . Экспериментальные значения  $a_k$  установлены из интенсивностей электронов конверсии и  $\gamma$ -лучей /табл. 1 и 2/. Нормирование относительных интенсивностей  $J_{\gamma}$  и  $J_k$  выполнено по КВК перехода 160,3 кэВ, мультипольность которого нами установлена из соотношения интенсивностей  $K$ -,  $L$ - и  $M$ -линий -  $M1+ \leq 10\% E2$ .

Таблица I

Сведения о гамма-лучах, возникающих при распаде  $^{137}\text{Pr}$ 

№ ПП	$E_\gamma$ (кэВ)	$\gamma_\gamma$ отн	№ ПП	$E_\gamma$ (кэВ)	$\gamma_\gamma$ отн
1	2	3	1	2	3
1.	160,32±0,09	4,43±0,48	25.	706,41±0,18	0,20±0,03
2.	251,62±0,20	0,10±0,03	26.	713,25±0,19	0,25±0,02
3.	273,64±0,50	0,20±0,04	27.	(734,19±0,42)	0,04±0,01
4.	(310,41±0,45)	0,11±0,04	28.	745,38±0,15	0,86±0,04
5.	329,04±0,16	0,80±0,14	29.	753,86±0,47	0,09±0,02
6.	(337,54±0,20)	0,15±0,05	30.	763,18±0,13	0,86±0,04
7.	353,69±0,15	2,64±0,27	31.	825,59±0,21	0,230±0,025
8.	482,36±0,23	0,29±0,03	32.	836,65±0,13	$\equiv$ 8,1
9.	416,31±0,36	0,37±0,04	33.	856,40±0,28	0,08±0,02
10.	433,89±0,14	5,84±0,52	34.	866,52±0,12	1,12±0,05
11.	511,02±0,09	$\gamma_\beta^+ = 115 \pm 15$	35.	921,23±0,13	0,77±0,05
12.	513,98±0,22	4,93±0,50	36.	933,54±0,18	0,28±0,03
13.	573,25±0,50	0,18±0,02	37.	944,57±0,57	0,043±0,017
14.	584,06±0,42	0,045±0,015	38.	953,62±0,27	0,095±0,013
15.	590,25±0,20	0,24±0,02	39.	(963,26±0,51)	<0,02±0,01
16.	602,63±0,11	1,41±0,11	40.	973,46±0,57	0,06±0,02
17.	609,89±0,36	0,12±0,02	41.	1001,61±0,13	0,52±0,04
18.	(646,88±0,35)	0,08±0,02	42.	1019,22±0,21	0,20±0,03
19.	654,36±0,27	0,14±0,02	43.	(1028,87±0,50)	0,05±0,01
20.	665,16±0,19	0,53±0,04	44.	1056,66±0,31	0,13±0,02
21.	671,24±0,29	0,15±0,02	45.	1066,79±0,32	0,06±0,02
22.	(676,44±0,42)	0,06±0,03	46.	1088,64±0,14	1,90±0,10
23.	695,32±0,46	0,06±0,02	47.	1096,89±0,13	0,92±0,06
24.	(699,41±0,48)	0,06±0,03	48.	1105,21±0,17	0,41±0,04

Таблица I (продолжение)

I	2	3	I	2	3
49. III0,92±0,19	0,39±0,04		79. (I560,27±0,62)	0,03±0,02	
50. II25,04±0,56	0,27±0,05		80. I568,95±0,36	0,04±0,01	
51. II28,56±0,32	0,19±0,04		81. (I612,94±0,95)	0,06±0,02	
52. II70,65±0,20	0,27±0,03		82. I619,28±0,24	0,33±0,05	
53. II80,00±0,20	0,37±0,05		83. I638,98±0,61	0,17±0,02	
54. I200,02±0,47	0,06±0,02		84. I679,82±0,24	0,23±0,03	
55. I246,54±0,29	0,12±0,02		85. I693,30±0,35	0,13±0,02	
56. I258,85±0,48	0,05±0,02		86. I699,76±0,18	0,58±0,86	
57. I260,06±0,49	0,035±0,18		87. I718,37±0,65	0,04±0,02	
58. I271,58±0,34	0,080±0,015		88. I727,57±0,24	0,15±0,03	
59. I276,75±0,17	0,27±0,03		89. (I742,32±0,68)	0,05±0,02	
60. I282,06±0,35	0,06±0,02		90. I764,81±0,69	0,06±0,02	
61. I286,46±0,20	0,21±0,02		91. (I774,29±0,79)	0,030±0,025	
62. I288,20±0,52	0,06±0,02		92. I792,63±0,36	0,11±0,03	
63. I300,42±0,56	0,020±0,003		93. I800,92±0,18	0,74±0,06	
64. I350,22±0,60	0,07±0,02		94. (I819,29±0,41)	0,10±0,04	
65. I366,21±0,46	0,06±0,02		95. I833,60±0,48	0,06±0,03	
66. I372,75±0,56	0,06±0,02		96. I841,09±0,19	0,06±0,03	
67. I418,88±0,18	0,37±0,04		97. I852,77±0,47	0,07±0,02	
68. (I435,2±0,05)	< 0,09		98. (I864,09±0,86)	0,030±0,015	
69. I437,31±0,16	1,12±0,08		99. I871,13±0,39	0,09±0,02	
70. I453,17±0,31	0,23±0,03		100. I887,88±0,29	0,35±0,07	
71. I467,59±0,42	0,05±0,02		101. I893,81±0,35	0,10±0,03	
72. I476,66±0,52	0,06±0,01		102. I912,87±0,64	0,12±0,04	
73. I499,50±0,20	0,37±0,04		103. I934,54±0,50	0,09±0,02	
74. I505,66±0,52	0,10±0,03		104. I952,62±0,38	0,13±0,04	
75. I511,85±0,31	0,18±0,04		105. I966,68±0,84	0,06±0,02	
76. I517,54±0,23	0,28±0,04		106. (I974,22±0,56)	0,03±0,01	
77. (I532,95±0,44)	0,03±0,01		107. (I992,22±0,72)	0,02±0,010	
78. (I541,73±0,64)	0,04±0,02		108. 2114,42±0,37	0,28±0,05	



Таблица I (продолжение)

I	2	3	I	2	3
II9. 2II5,35±0,51	0,13±0,04		II5. 2275,48±0,75	0,07±0,02	
II0. 2I27,91±0,52	0,08±0,02		II6. 2304,39±0,70	0,05±0,02	
III. 2I34,52±0,42	0,23±0,05		II7. (2320,32±0,77)	0,03±0,01	
II2. 2I45,36±0,69	0,041±0,015		II8. 2347,62±0,56	0,09±0,03	
II3. 2I52,95±0,53	0,11±0,03		II9. 2479,21±0,58	0,03±0,01	
II4. 2I86,89±0,86	0,03±0,01		I20. 2517,98±0,59	0,03±0,01	

Таблица 2

К определению мультипольностей некоторых гамма-переходов в  $^{137}\text{Cs}$ .

$E_{\gamma}$ , кэВ	$J_{\pi}$ , отн	$J_{\pi}$ , отн	$L_{\pi}$ эксп	Теория			Вывод о мульти- польности
				E1	M1	E2	
160,32	$4,43 \pm 0,48$	$\approx 1000$	$\approx 0,293$ $K/L_1 = 9,1 \pm 1,8$ $K/L_2 > 13,3$ $L_1/L_2 = 4,0 \pm 0,8$		$0,293$ 9,35 7,9 9,1 14,6 3,7 4,4	$10,6$ $1,06$ $1,30$	} $M1 + < 10\% E2$
329,04	$0,80 \pm 0,14$	$29 \pm 3$	$(4,7 \pm 0,8) 10^{-2}$	8,7(-3)	3,95(-2)	3,0(-2)	
353,69	$2,64 \pm 0,27$	$61 \pm 6$	$(3,0 \pm 0,6) 10^{-2}$	7,0(-3)	3,2(-2)	2,3(-2)	
402,36	$0,29 \pm 0,03$	$4,1 \pm 0,8$	$(1,8 \pm 0,5) 10^{-2}$	5,2(-3)	2,3(-2)	1,65(-2)	M1, E2
433,89	$5,84 \pm 0,52$	$73 \pm 7$	$(1,6 \pm 0,3) 10^{-2}$	4,4(-3)	1,9(-2)	1,3(-2)	M1, E2
513,98	$4,93 \pm 0,50$	$39 \pm 4$	$(1,0 \pm 0,2) 10^{-2}$	2,9(-3)	1,25(-2)	8,5(-3)	M1, E2
836,56	8,1	$13,5 \pm 2,1$	$(2,2 \pm 0,4) 10^{-3}$	1,0(-3)	3,9(-3)	2,6(-3)	E2
1088,64	$1,90 \pm 0,10$	$3,0 \pm 0,8$	$(2,0 \pm 0,7) 10^{-3}$	6,0(-4)	2,1(-3)	1,4(-3)	M1, E2
1096,89	$0,92 \pm 0,06$	$2,1 \pm 0,7$	$(3,0 \pm 1,0) 10^{-3}$	6,0(-4)	2,1(-3)	1,4(-3)	M1

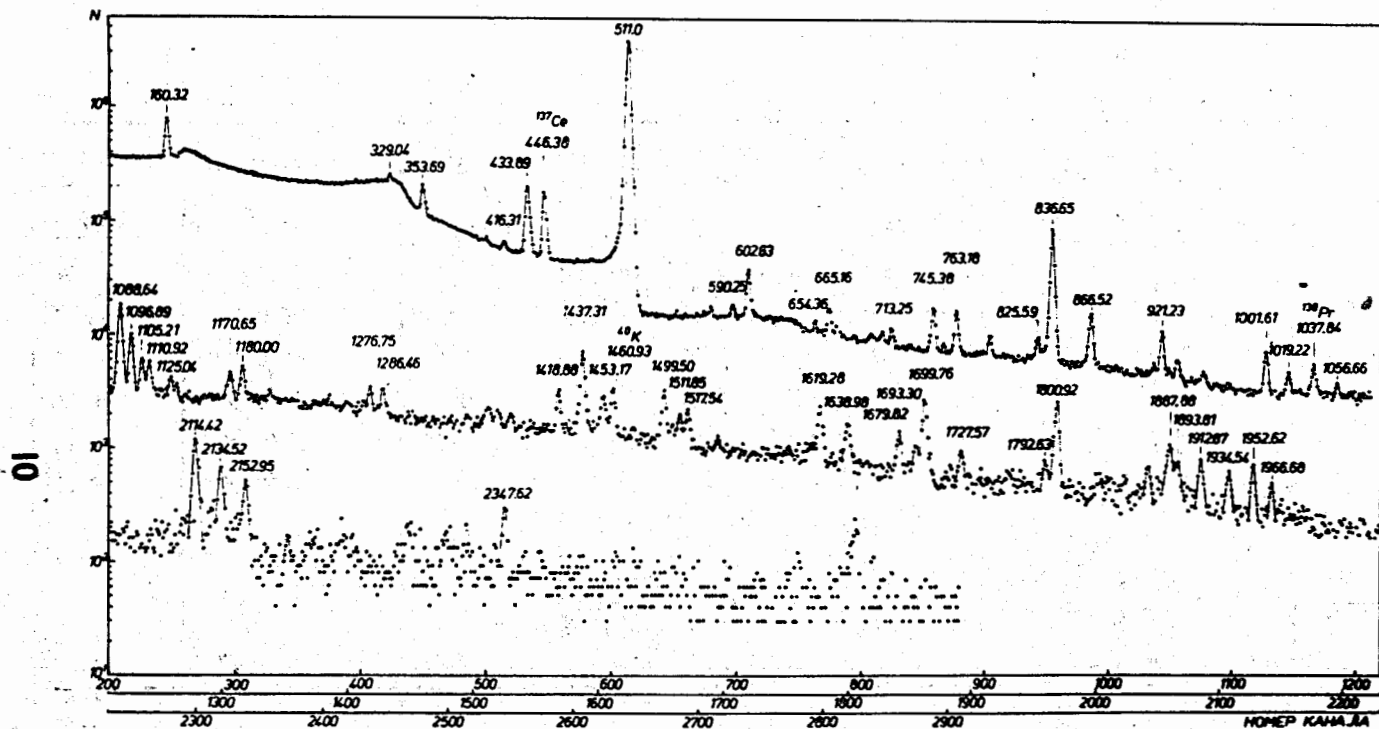


Рис. 1. Спектр гамма-лучей, возникающих при распаде  $^{137}\text{Pr} \rightarrow ^{137}\text{Ce}$ , измеренный на  $\gamma$ -спектрометре с  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором с чувствительным объемом  $27 \text{ см}^3$ .

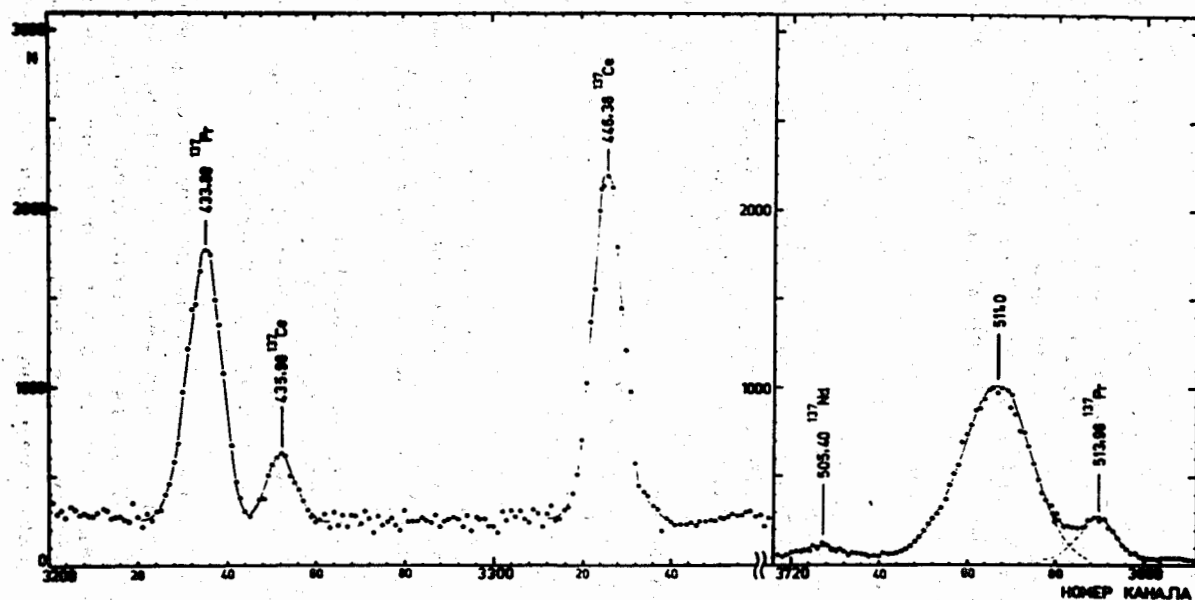


Рис. 2. Участок спектра гамма-лучей  $^{137}\text{Pb}$ , измеренный с помощью рентгеновского спектрометра.

#### 2.4. Определение граничной энергии и интенсивности позитронного излучения

Мы ставили задачу уточнения граничной энергии  $\beta^+$ -спектра путем его измерений на низкофоновом спектрометре типа  $2\pi\sqrt{2}$ . График Ферми-Кюри спектра показан на рис. 3. Граничная энергия позитронов определена методом наименьших квадратов и равна  $1680 \pm 10$  кэв. Приписание позитронного излучения распаду  $^{137}\text{Pr}$  сделано по наблюдению за убыванием во времени его интенсивности  $/ T_{1/2} = 1,37 \pm 0,05$  час, рис. 4/.

Интенсивность позитронного излучения нами определена из интенсивности пика аннигиляционных  $\gamma$ -квантов /табл. 1/.

#### 2.5. Измерение $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений

Ранее <sup>/7/</sup>  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадения изучались с помощью установки с двумя кристаллами  $\text{NaJ}$ . Мы провели опыты такого рода на установке с двумя  $\text{Ge(Li)}$ -детекторами <sup>/16/</sup>. Измерены совпадения  $\gamma$ -квантов 160,3 и 353,7 кэв с  $\gamma$ -лучами с  $E_\gamma < 1050$  кэв. Четко установлены следующие каскады:

$(\gamma 160)(\gamma 354; 603, 665, 827, 921, 1019)$

и

$(\gamma 354)(\gamma 160, 665, 921).$

Отметим, что интенсивности пиков 665 и 921 в спектре совпадений с  $\gamma 160$  имеют интенсивность в 2,5 раза меньшую, чем в одиночном спектре. Этот факт объясняется предлагаемой ниже схемой распада.

#### 2.6. Измерение времени жизни уровня 160,3 кэв

Время жизни нижнего возбужденного состояния 160,3 кэв  $^{137}\text{Ce}$  было измерено на многоканальном временном анализаторе с преобразователем типа "время-амплитуда" в режиме  $e-\gamma$ -совпадений <sup>/17/</sup>.

Время жизни уровня измерено в совпадениях конверсионных электронов  $K160,3$  с  $\gamma$ -лучами с энергией выше 300 кэв. Значение периода полураспада  $T_{1/2} = 0,79 \pm 0,14$  нсек определено по экспоненциальному спаду кривой задержанных совпадений методом наименьших квадратов. Погрешность в определении периода включает статистическую ошибку и ошибку калибровки цены канала временного анализатора. Временной спектр приведен на рис. 5.

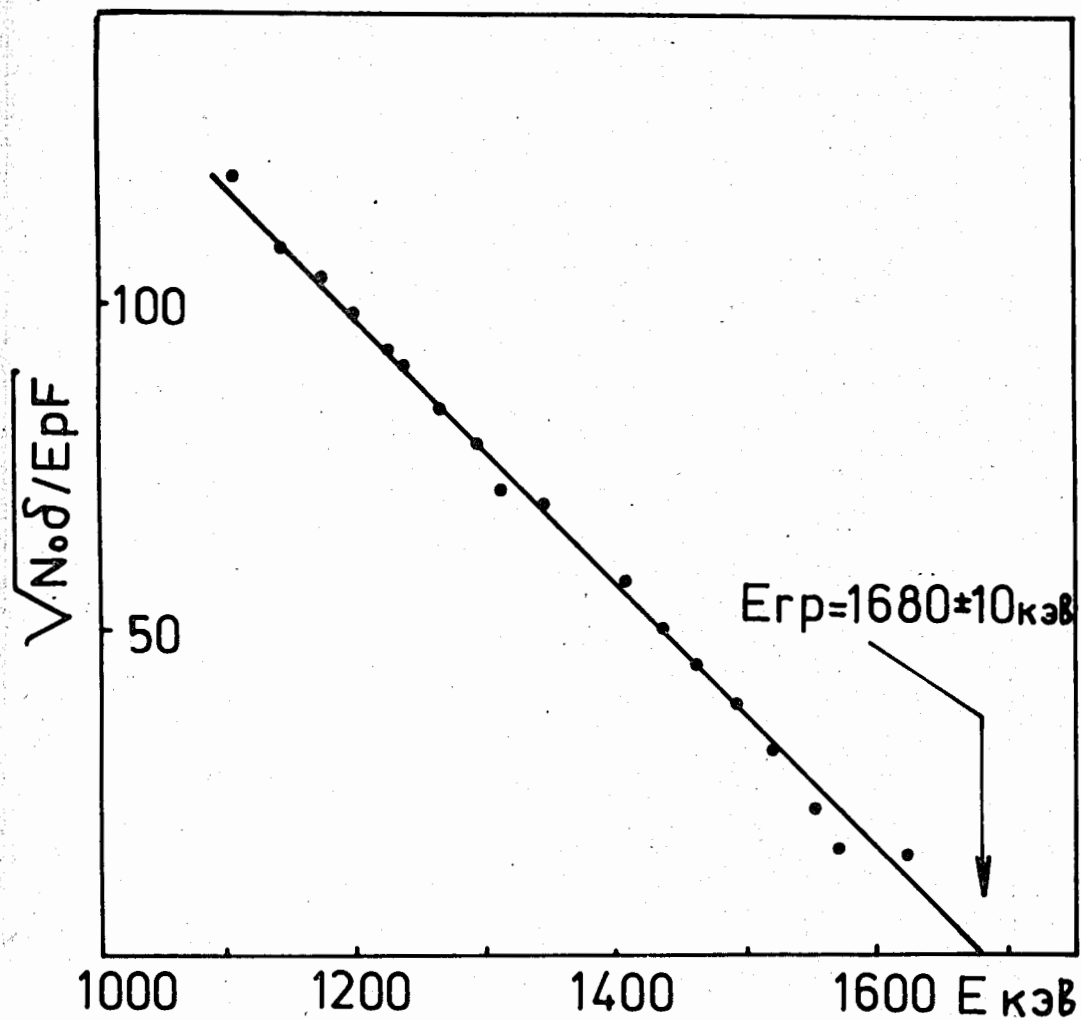


Рис. 3. График Кюри участка  $\beta^+$ -спектра  $^{137}\text{Pr}$ .

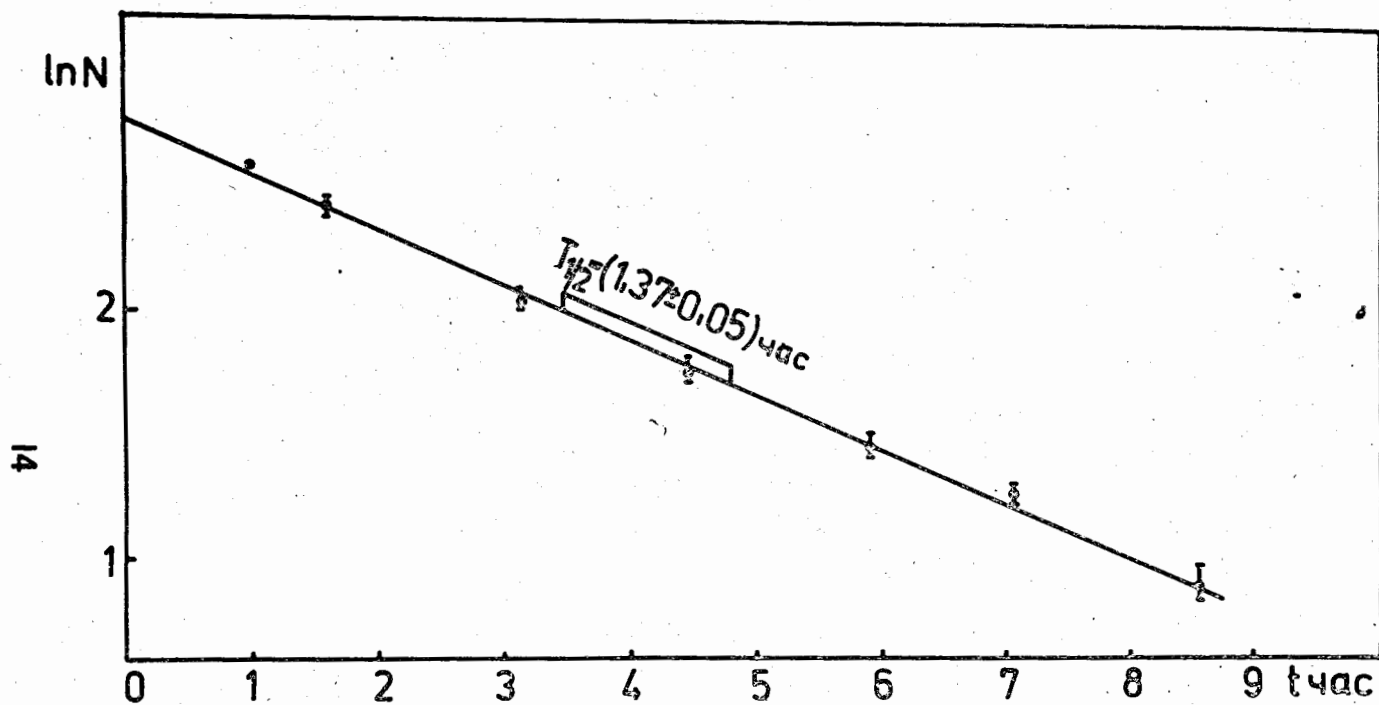


Рис. 4. Изменение во времени интенсивности позитронного излучения  $^{137}\text{Pr}$ .

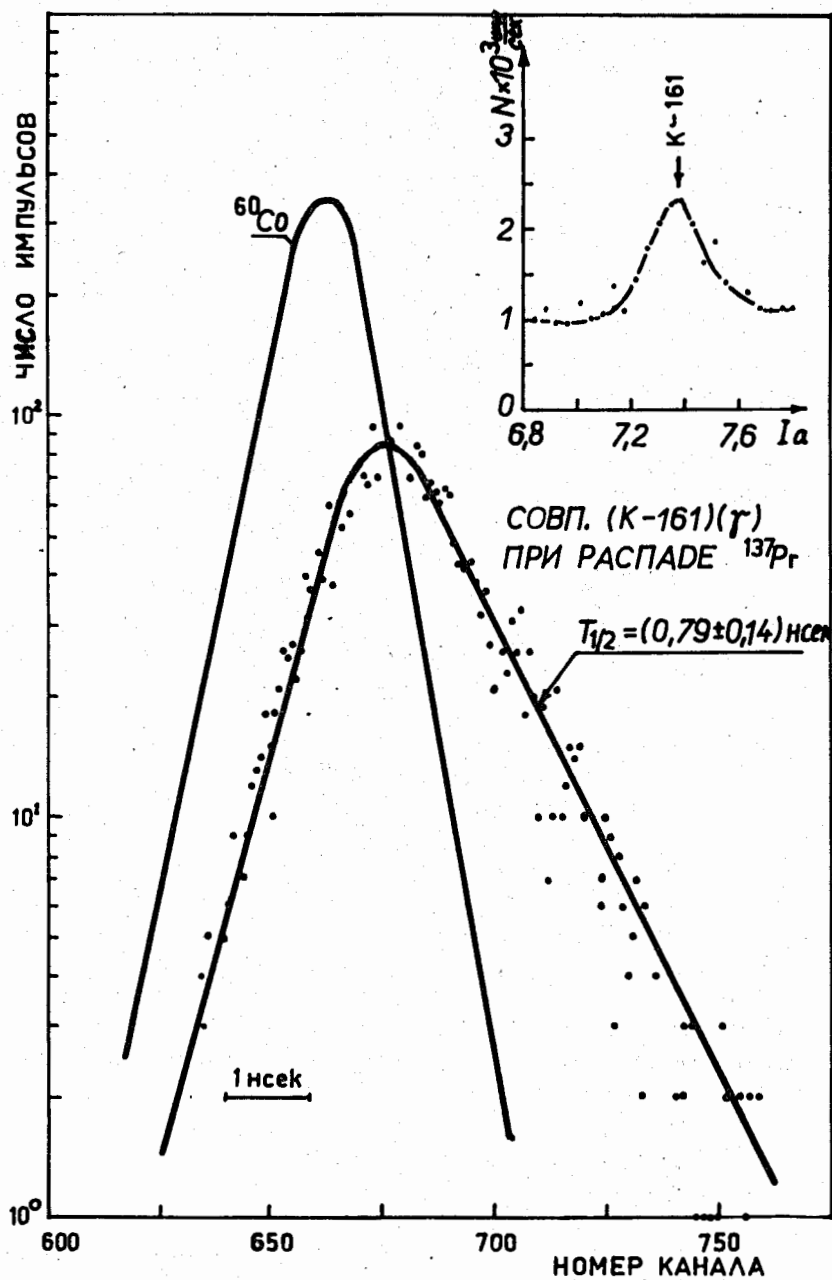


Рис. 5. Кривая задержанных совпадений / K - 160,32 с  $E_{\gamma} > 300$  кэв/.  
 Кривая мгновенных совпадений нормирована к площади кривой задержанных совпадений. Отдельно показан участок спектра конверсионных электронов с K 160,32.



### 3.1. Конструирование схемы

Подавляющее большинство  $\gamma$ -переходов, указанных в табл. 1, размещено в предлагаемую схему распада  $^{137}\text{Pr} \rightarrow ^{137}\text{Ce}$ /рис. 6/. При построении схемы использованы сведения об энергиях и интенсивностях  $\beta$ - и  $\gamma$ -переходов, отношение  $(\epsilon/\beta^+)_{\text{теор.}} = 2,65$  для бета-перехода между основными состояниями, выводы о мультипольностях  $\gamma$ -переходов, а также наши и из работы [7] данные о  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадениях.

Для указанных на схеме уровней хорошо выполняется баланс энергий и интенсивностей  $\gamma$ -переходов. Полученные из баланса интенсивностей вероятности заселения уровней электронным захватом и  $\beta^+$ -распадом указаны на схеме. Там же указаны величины  $\lg ft$  соответствующих  $\beta$ -переходов, вычисленные в предположении их разрешенного характера.

Мы существенно пересмотрели предложенный Ван Хизе и др. [7] вариант схемы распада  $^{137}\text{Pr}$ . В нее введены ранее неизвестные состояния при энергиях 1105,2; 1258,9; 1271,5; 1288,5; 1476,6; 1570,5; 1693,3; 1925,8; 1933,9; 2113,4; 2347,2; 2480,0 кэВ, а существование других уровней мы обосновываем большим количеством высвечивающих их  $\gamma$ -переходов.

Знание квантовых характеристик основных состояний  $^{137}\text{Pr}$  и  $^{137}\text{Ce}$ , мультипольностей переходов, а также величин  $\lg ft$  позволило приписать некоторым возбужденным состояниям  $^{137}\text{Ce}$  спины и четность.

### 3.2. Обсуждение результатов

Спины основных состояний  $^{137}\text{Pr}$  и  $^{137}\text{Ce}$ , а также изомерного состояния  $^{137}\text{Ce}$  измерены методом магнитного резонанса атомного пучка [18] и соответственно составляют 5/2, 3/2 и 11/2.

Согласно модели оболочек указанные уровни можно рассматривать как одночастичные состояния  $2d_{5/2}$  59-го протона ядра  $^{137}\text{Pr}$  и  $2d_{3/2}$  79-го нейтрона  $^{137}\text{Ce}$ . Свойства  $\beta$ -перехода ( $\lg ft Q_{\beta^+}$ ) между основными состояниями  $^{137}\text{Pr}$  и  $^{137}\text{Ce}$  согласуются [19] с приписанием указанных характеристик.

Тип мультипольности перехода 160,3, а также отсутствие  $\beta^+$ -распада на уровень 160,3 кэВ ( $\lg ft > 8,1$ ) позволяют приписать уровню  $J^\pi = 1/2^+$ , что соответствует по модели оболочек состоянию  $3s_{1/2}$  неспаренного нейтрона.

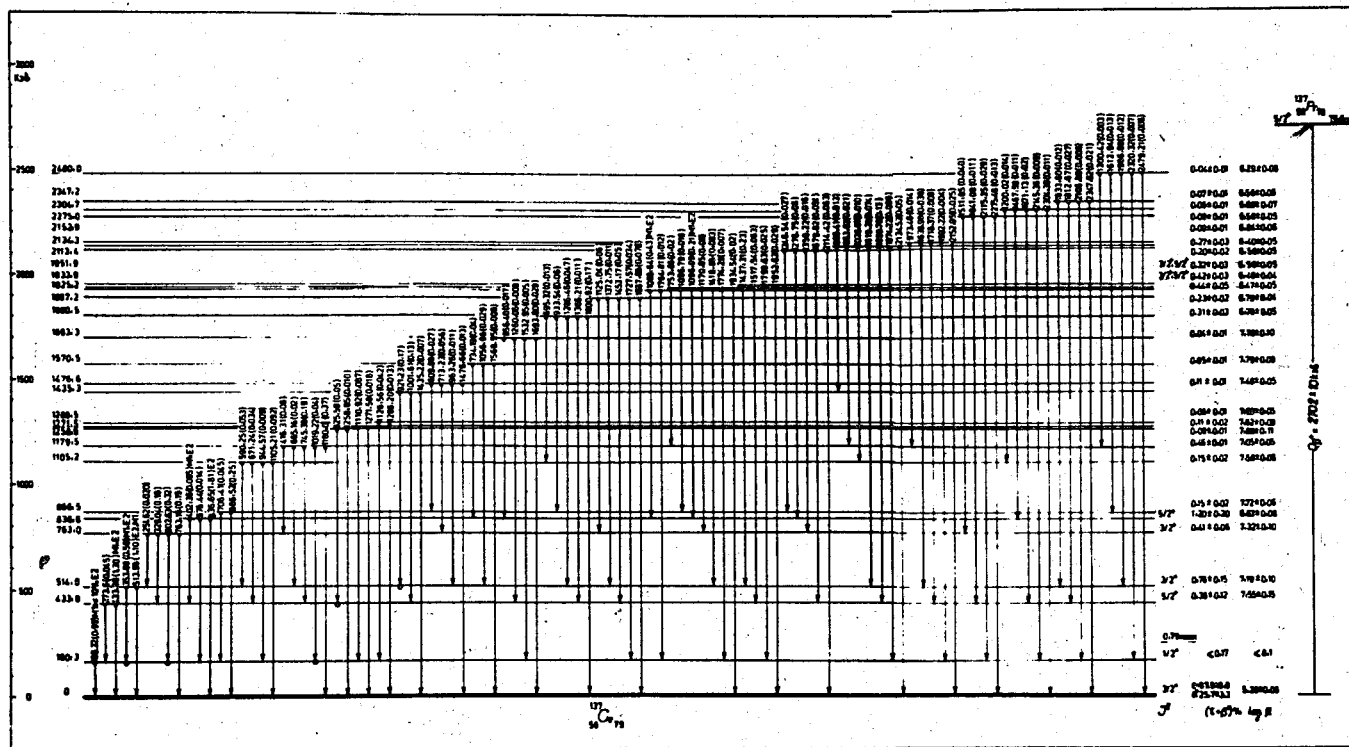


Рис. 6. Схема распада  $^{137}\text{Pr}$ . На схеме в скобках указаны полные интенсивности  $\gamma$ -переходов в процентах на распад. Светлыми кружочками отмечены каскады, проявившиеся в  $\gamma$ - $\gamma$  совпадениях.

Измеренное время жизни уровня  $160,3 \text{ кэВ} / T_{1/2} = 0,79 \pm 0,14$  нсек/ дает возможность проанализировать вероятность перехода, связывающего этот уровень с основным состоянием  $^{137}\text{Ce}$ . Согласно модели оболочек М1-переход между состояниями  $s_{1/2}$  и  $d_{3/2}$  должен быть запрещенным по орбитальному квантовому числу  $\ell$ . Значения фактора запрета ( $F_{\text{зам.}}(M1) = 287$ ) и квадрата матричного элемента  $M^2(M1) = 0,07$  для рассматриваемого перехода существенно отличаются от значений  $F_{\text{зам.}}(M1) \approx 60$  и  $M^2(M1) \approx 0,5$ , характерных для  $\ell$ -запрещенных переходов типа  $n(s_{1/2}) \rightarrow n(d_{3/2})$ .

Известный ранее изомерный уровень  $255 \text{ кэВ} / 11/2^-$ , как следует из наших данных, не возбуждается из распада  $^{137}\text{Pr} / J^{\pi} = 3/2^+ < 0,005\%$  на распад/.

Переходу  $433,9 \text{ кэВ}$ , высвечивающему уровень с такой энергией, мы приписали мультипольность типа М1, Е2. Уровень слабо заселяется  $\beta$ -распадом /  $lgft = 7,55$ /. Поэтому возможными характеристиками уровня будут  $3/2^+$ ,  $5/2^+$  или  $7/2^+$ . Наличие слабого перехода между уровнями  $433,9$  и  $160,3 \text{ кэВ}$  свидетельствует о характеристике  $5/2^+$ , как наиболее предпочтительной.

Уровень  $514,0 \text{ кэВ}$  разряжается переходами  $353,7$  и  $514,0 \text{ кэВ}$ , мультипольности которых типа М1 или Е2. С учетом соотношения интенсивностей переходов  $353,7$  и  $514,0 \text{ кэВ}$ , а также заселения уровня электронным захватом мы приписываем этому состоянию  $J^{\pi} = 3/2^+$ .

Сильное торможение бета-переходов на уровне  $433,9$  и  $514,0 \text{ кэВ}$ , возможно, связано с их коллективной природой - типа колебаний четно-четного остова плюс одночастичное состояние неспаренного нуклона /например,  $2^+ + d_{3/2}$  или  $s_{1/2}$ /. Об интерпретации некоторых уровней таких мультиплетов в соседних нечетных ядрах мы сообщали в /19/.

Разрядка уровня  $763,0 \text{ кэВ}$  происходит 4 переходами, мультипольность одного из них  $329,0 \text{ кэВ}$  нами установлена как М1. Учитывая вероятность заселения уровня электронным захватом, мы приписываем ему  $J^{\pi} = 3/2^+$ .

Снятие возбуждения уровня  $836,6 \text{ кэВ}$  происходит высвечиванием 3 переходов, для двух из них мы установили типы их мультипольностей:  $402,4 / M1, E2 /$  и  $836,6 \text{ кэВ} / E2 /$ .

Вероятность заселения уровня  $\beta$ -распадом, соотношения интенсивностей высвечивающих его  $\gamma$ -переходов свидетельствуют о его характеристиках  $J^{\pi} = 5/2^+$ .

С уровня 1925,2 кэв идут два перехода, мультипольность одного из них 1088,6 кэв/ установлена /M1 или E2/. Состояние заселяется  $\beta$ -переходом, величина  $lg ft$  которого 6,5. Поэтому уровню приписаны квантовые характеристики  $J^\pi = 3/2^+$  или  $5/2^+$ . Отметим, что этот уровень не имеет перехода на основное состояние.

Возбужденное состояние 1933,9 кэв высвечивается большим количеством  $\gamma$ -переходов, в том числе переходом 1096,9 кэв /M1 или E2/. Соответствующий  $\beta$ -переход имеет  $lg ft = 6,5$ . Уровню приписаны  $J^\pi = 3/2^+$  или  $5/2^+$ .

Другие указанные на схеме уровни заселяются  $\beta$ -переходами,  $lg ft$  которых имеют значения от 6,3 до 7,9. Такие значения соответствуют однократно запрещенным или разрешенным задержанным переходам. Поэтому интерпретировать состояния  $^{137}\text{Ce}$ , исходя из классификации одночастичных  $\beta$ -переходов, затруднительно, т.к. не ясно, насколько возбужденные состояния можно считать одно-квазичастичными.

Авторы искренне благодарны В.П. Афанасьеву, И.И. Громовой, Н.А. Лебедеву, Ц. Вылову, Х. Фуге, А.А. Александрову, В.М. Мосяжу В. Боновой, М. Неновой и Я. Полаховой за помощь при проведении экспериментов и обработке информации.

### Литература

1. L. S. Kissinger, R. A. Sorensen. *Rev. Mod. Phys.*, 35, 853 (1963).
2. N. Freed and W. Miles. *Nuovo Cim.*, LX, No. 2, 301 (1969).
3. K. Heyde et al. *Nucl. Phys.*, A126, 381 (1969).
4. G. T. Danby, J. S. Foster and A. L. Thompson. *Can. J. Phys.*, 36, 1487 (1958).
5. C. Dahlstrom, J. S. Foster and A. L. Thompson. *Can. J. Phys.*, 36, 1483 (1958).
6. K. Gromov, V. Kalinnikov, V. Kuznetsov, N. Lebedev, G. Musiol, E. Herrmann, Zh. Thelev, B. Dzhelepov, A. Kudrjavitseva. *Nucl. Phys.*, 73, 65 (1965).
7. J. R. Van Hise, B. H. Ketelle and A. R. Brosi. *Phys. Rev.*, 153, 1287 (1967).
8. F. Molnar, A. Horvath and V. A. Khalkin. *J. of Chromatography*, 26, 225 (1967).

9. 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. Препринт ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.
10. Г. Музиоль, В.И. Райко, Х. Тыррофф. Препринт ОИЯИ Р6-4487, Дубна, 1969.
11. А.Ф. Новгородов, В.А. Кочетков, Н.А. Лебедев, В.А. Халкин, Радиохимия, 6, 73 /1963/.
12. Р. Арлт, Г. Винтер, С.В. Медведь, Г. Музиоль, А.Н. Синаев, З.А. Усманова, Д. Фромм, Н.А. Чистов, Х. Штрусный. Препринт ОИЯИ, Р6-6227, Дубна, 1972.
13. В.С. Бутцев, К.Я. Громов, В.Г. Калинин. Препринт ОИЯИ, Р6-6519, Дубна, 1972.
14. Ц. Вылов, И.Н. Егошин, С. Орманджиев, Б.П. Осипенко, Д. Срна, Ю. Юрковски. Препринт ОИЯИ, 13-6440, Дубна, 1972.
15. Б. Амов, Ц. Вылов, Ж. Желев, Й. Крацикова, Б.П. Осипенко, И. Пенев, В.Г. Чумин. Программа и тезисы докладов XII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Изд-во "Наука", Ленинград, 1972.
16. В.С. Александров, Ф. Дуда, С.И. Елизаров, Г.П. Жуков, Г.И. Забиякин, З. Зайдлер, И. Звольски, Е.Т. Кондрат, З.В. Лысенко, В.И. Фоминых, В.Г. Тишин, М.И. Фоминых, В.М. Цупко-Ситников. ОИЯИ, 13-4273, Дубна, 1969; Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 69 /1970/.
17. В.А. Морозов, Т.М. Муминов. ПТЭ, 2, 53 /1970/.
18. С. Ekstrom, S. Ingelman, M. Olsmats, B. Wannberg, G. Andersson, A. Posen, .Report UUIP 780, Uppsala (1972).
19. В.С. Бутцев, Ц. Вылов, В.Г. Калинин, Н.А. Тихонов, Э. Херрманн. ОИЯИ, Р6-5673, Дубна, 1971; Изв. АН СССР, сер. физ., 35, 1618 /1971/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 августа 1972 года.