

С 341.18

Б-936

5/III-

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

857/2-73

P6 - 6876



В.С.Бутцев, Ц.Вылов,
К.Я.Громов, В.Г.Калинников

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА НУКЛИДОВ
НЕОДИМА И ПРАЗЕОДИМА
С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ $A=136$

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

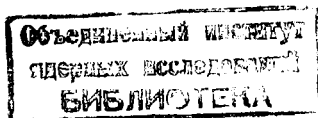
1972

P6 - 6876

В.С.Бутцев, Ц.Вылов,
К.Я.Громов, В.Г.Калинников

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА НУКЛИДОВ
НЕОДИМА И ПРАЗЕОДИМА
С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ $A=136$

Направлено в Изв. АН СССР
(серия физическая)



I. В в е д е н и е

В настоящей работе изучена "цепочка" связанных радиоактивным распадом изотопов: ${}^{136}_{60}\text{Nd}$ $76 \xrightarrow{55 \text{ мин}}$ ${}^{136}_{59}\text{Pr}$ $77 \xrightarrow{13 \text{ мин}}$ ${}^{136}_{58}\text{Ce}$ 78 . Исследуемые ядра относятся к области $Z > 50$, $N \leq 82$, и имеют 10, 9 и 8 протонов сверх заполненной оболочки $Z = 50$, соответственно. Такие ядра являются "переходными" между "сферическими" ($N = 82$) и ядрами, расположенными в так называемой "новой области" деформации ($Z > 50$, $N < 82$). Изменение ядерных свойств с убыванием числа нейтронов от магического $N = 82$ вызывает особый интерес. Для систематики свойств ядер и совершенствования теоретических представлений необходимы всесторонние исследования большого числа нейтронодефицитных нуклидов от Ba до Nd .

Изотоп ${}^{136}\text{Nd}$ (55,0±1,5 мин) был открыт в Дубне^{/1/}. Некоторые детали его схемы распада мы сообщали ранее^{/2,3/}. Относительно изотопа ${}^{136}\text{Pr}$ первоначально указывалось, что он имеет период полураспада 1,0-1,2 час^{/4-6/}. Позднее Брози и др.^{/7,8/} сообщили, что ${}^{136}\text{Pr}$ имеет $T_{1/2} = 13,5$ мин и характеристики $J^\pi = 1^+$. Уже в ранних работах^{/1-3/} мы установили, что в реакции расщепления $\text{Gd} + p$ не возбуждается изомер ${}^{136}\text{Pr}$ (≈ 1 час). Кроме того, ${}^{136}\text{Pr}$ с $T_{1/2} = 13$ мин были приписаны характеристики $J^\pi = 2^+$. Некоторые сведения об уровнях ${}^{136}\text{Ce}$ были получены из изучения реакций: ${}^{124}\text{Sn} ({}^{16}\text{O}, 4n)$ ^{/9/}, ${}^{138}\text{Ba} (\alpha, 6n)$ ^{/10/}, ${}^{139}\text{La} (p, 4n)$ ^{/11/}.

Недавно вышла работа Брози и др. /12/, результаты которой хорошо согласуются с нашими.

Совершенствование методики эксперимента позволило нам дополнительно решить некоторые вопросы: а) масс-спектрометрически определить число A у 13-минутной активности Pr , б) оценить сечение образования ^{136}Pr (70 мин), в) предложить впервые схему распада ^{136}Nd и г) значительно дополнить схему распада ^{136}Pr .

2. Эксперимент

2.1. Приготовление источников.

Изотопы ^{136}Nd и ^{136}Pr получались в реакции глубокого расщепления металлического гадолиния на внутреннем протонном пучке или комплекса $(NH_4)_2[Gd(DTPA) \cdot H_2O]$ - на выведенном пучке синхроциклотрона ОИЯИ. Методика их выделения и приготовления источников изложена в работах /13,14/.

2.2. Измерительная техника.

Гамма-излучение ^{136}Nd и ^{136}Pr изучалось спектрометрами с $Ge(Li)$ -детекторами различного объема и энергетического разрешения: $0,5 \text{ см}^3$ (≈ 600 эв, $E_T = 50$ кэв), $10,27$ и 40 см^3 ($2,2-2,9$ кэв, $E_T = 1332$ кэв). Спектры электронов внутренней конверсии (ЭВК) и позитронов изучались спектрометром с однородным магнитным полем на базе $Si(Li)$ -детектора. С помощью двухмерного спектрометра изучены совпадения гамма-лучей. Подробнее измерительная техника и методика обработки спектрометрической информации описаны в /14,15/.

3. Экспериментальные результаты

3.1. Идентификация массового числа и периода полураспада.

Фракции нейтронодефицитных изотопов неодима и празеодима, хроматографически выделенные из продуктов облучения $Gd + p$, были раз-

делены по массам на электромагнитных масс-сепараторах с эффективностью выделения неодима - 80%, празеодима - 75% /16/. Активность выделенной массы А = 136 составляла около 100 мкюри при облучении мишени (1,5 г) на выведенном пучке в течение 15 минут (радио-химическая процедура - 15 мин, время разделения на сепараторе - 5 минут).

Период полураспада, выделенного таким образом ^{136}Pr , был определен по убыванию интенсивности пиков гамма-лучей 539,8; 552,2 и 1092,0 кэв и составил $(12,9 \pm 0,4)$ мин, что хорошо согласуется с результатом Броза и др. /12/. Специально прослеживался период полураспада этих гамма-линий на предмет обнаружения 70-минутной активности ^{136}Pr . Для повышения надежности результатов активность празеодима перед разделением на масс-сепараторе тщательно очищалась от возможных примесей и прежде всего - от 55-минутной активности ^{136}Nd . Наличие двух изомеров ^{136}Pr привело бы к сложному характеру распада гамма-линии 552 кэв при любом предположении о спине изомера 70 минут. Если же, по аналогии с ^{138}Pr , этот изомер имеет высокий спин, то должны наблюдаться каскадные переходы $6^+ \rightarrow 4^+ \rightarrow 2^+ \rightarrow 0^+$ (900,1; 761,3 и 552,2 кэв). Мы, кроме $(12,9 \pm 0,4)$ мин, не заметили для гамма-линии 552,16 кэв другого периода. В гамма-спектре не наблюдается интенсивной линии с $E_\gamma \approx 900$ кэв, а линия 761,3 кэв распадается с периодом 12,9 мин. Это подтверждает наши выводы /13/ о том, что 70-минутная активность не принадлежит ^{136}Pr .

Верхний предел сечения образования 70-минутного изомера в реакции глубокого расщепления $Gd + p$ составляет, по нашим оценкам, $\leq 0,005 \text{ б}$ (^{136}Pr , 13 мин).

3.2. Гамма-лучи.

Для тщательного изучения гамма-излучения было измерено большое число спектров с использованием детекторов разного объема. Спектры в области больших энергий измерялись с фильтром (Pb) различной толщины. На рис.1 показана низкоэнергетическая часть спектра гамма-лучей $^{136}\text{Nd} + ^{136}\text{Pr}$, на рис.2 - спектр гамма-лучей в области средних и жестких энергий (до 3,7 Мэв). Для более надежной идентификации гамма-лучей измерения спектров производились с сепарированными источниками как ^{136}Nd , так и ^{136}Pr . В табл.1 и 2 приведены энергии и интенсивности гамма-лучей, отнесенных к распаду ^{136}Nd и ^{136}Pr , соответственно. Сведений о гамма-лучах ^{136}Nd ранее в литературе не было. К распаду ^{136}Pr отнесено около 100 гамма-переходов. Имеются разногласия с I_{12} в энергии гамма-переходов: 1203,8; 1503,3; 2275,0; 2351,9 и большинства переходов в жесткой части спектра, а также в определении интенсивностей гамма-лучей 1063,2; 1773,8; 1899; 1965,2; 2450,9; 2622,7; 2728,7; 2808,7 и ряда других. Учет вклада пиков одиночного и двойного вылета, а также пиков сумм, позволил оценить истинные интенсивности многих жестких гамма-переходов. Так, например, на линии 1063 кэв накладывается пик суммы гамма-лучей 511,0 и 552,2 кэв, что привело к завышению интенсивности в I_{12} .

3.3. Электроны внутренней конверсии (ЭВК)

При изучении спектра ЭВК возникали трудности из-за небольшого периода полураспада ^{136}Nd и ^{136}Pr . Кроме того, большинство линий имеют малую интенсивность. Применение бета-спектрометра с однородным магнитным полем на базе Si(Li)-детектора позволило быстро произвести одновременный набор спектра в широкой энергетической области (рис.3). Сведения об ЭВК ^{136}Nd и ^{136}Pr приведены

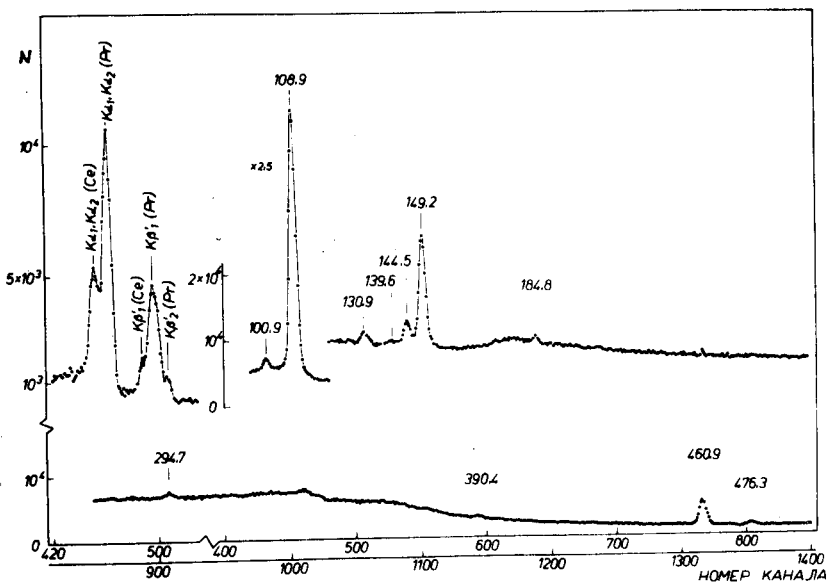


Рис.1 Участки спектра рентгеновских и гамма-лучей ^{136}Nd

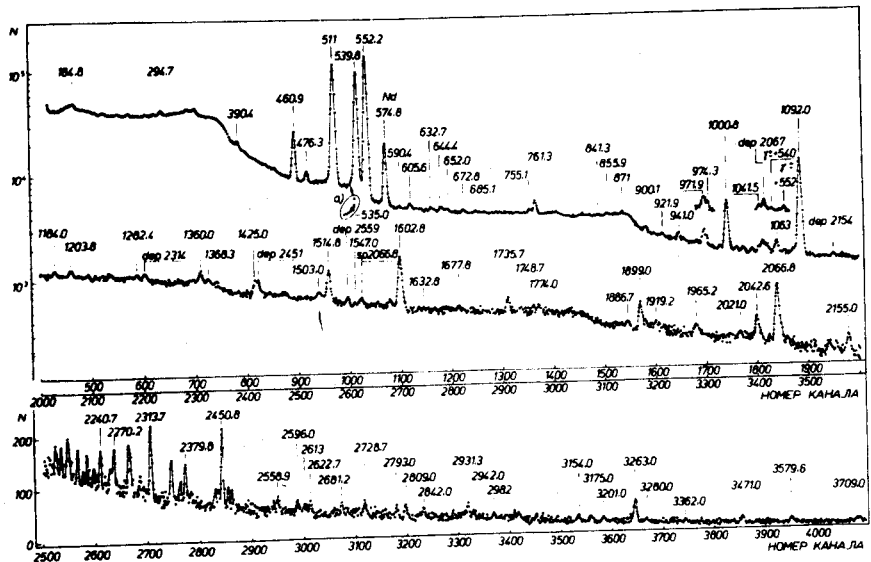


Рис.2 Спектр гамма-лучей $^{136}\text{Nd} + ^{136}\text{Pr}$, измеренный на гамма-спектрометре с $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором с чувствительным объемом 27 см^3

Таблица I

Сведения о гамма-лучах, возникающих при распаде

 ^{136}Nd ($55,0 \pm 1,5$) мин

№№ П/П	E_γ , кэВ	γ_γ отн.	№№ П/П	E_γ , кэВ	γ_γ отн.
1.	$100,92 \pm 0,38$	$14,8 \pm 2,9$	16.	$488,68 \pm 0,60^a$	$1,6 \pm 0,3$
2.	$108,87 \pm 0,35$	340 ± 40	17.	$498,81 \pm 0,60$	$1,3 \pm 0,5$
3.	$130,92 \pm 0,39$	$5,8 \pm 0,6$	18.	$535,06 \pm 0,22$	$9,5 \pm 1,5$
4.	$139,58 \pm 0,35$	$2,2 \pm 0,3$	19.	$574,83 \pm 0,11$	≈ 100
5.	$144,54 \pm 0,32$	$10,0 \pm 1,2$	20.	$583,72 \pm 0,94^a$	$1,5 \pm 0,5$
6.	$149,24 \pm 0,29$	65 ± 7	21.	$605,65 \pm 0,52$	$4,8 \pm 0,8$
7.	$184,82 \pm 0,43$	$5,0 \pm 1,0$	22.	$632,69 \pm 0,31^a$	$3,7 \pm 0,4$
8.	$211,62 \pm 0,45$	$2,2 \pm 0,3$	23.	$645,32 \pm 0,52^a$	$4,9 \pm 0,6$
9.	$240,96 \pm 0,33$	$2,2 \pm 0,3$	24.	$653,45 \pm 0,95^a$	$3,9 \pm 0,5$
10.	$253,12 \pm 0,40^a$	$3,8 \pm 0,4$	25.	$684,85 \pm 0,90$	$1,5 \pm 0,5$
11.	$287,92 \pm 0,55^a$	$2,0 \pm 0,3$	26.	$754,81 \pm 0,52$	$4,7 \pm 0,6$
12.	$294,72 \pm 0,35^a$	$9,2 \pm 1,2$	27.	$871,25 \pm 0,43^b$	$1,8 \pm 0,2$
13.	$390,37 \pm 0,35$	$7,2 \pm 1,1$	28.	$921,85 \pm 0,71^a$	$2,4 \pm 0,3$
14.	$425,81 \pm 0,42^b$	$2,1 \pm 0,3$	29.	$941,93 \pm 0,65^a$	$5,8 \pm 0,7$
15.	$476,30 \pm 0,19$	$13,4 \pm 1,7$	30.	$971,96 \pm 0,68$	$9,5 \pm 1,6$
			31.	$1183,96 \pm 0,80^b$	$2,6 \pm 0,3$

В табл. I и 2 а - γ -лучи отнесены к распаду "цепочки" изотопов с массовым числом $A = 136$, однако не установлена их изотопная принадлежность.

Таблица 2

Сведения о гамма-лучах, возникающих при распаде ^{136}Pr
($12,9 \pm 0,4$) мин

	E_{γ} , кэВ	J_{γ} отн.	E_{γ} , кэВ	J_{γ} отн.
1.	$204,37 \pm 0,31^a$	$0,24 \pm 0,03$	25. $1368,30 \pm 0,60$	$0,34 \pm 0,04$
2.	$221,87 \pm 0,26^a$	$0,26 \pm 0,03$	26. $1425,02 \pm 0,43$	$1,8 \pm 0,2$
3.	$276,51 \pm 0,54^a$	$0,40 \pm 0,05$	27. $1488,95 \pm 0,67^a$	$0,22 \pm 0,03$
4.	$460,85 \pm 0,24$	$14,6 \pm 0,7$	28. $1503,27 \pm 0,50$	$0,48 \pm 0,06$
5.	$523,87 \pm 0,48^a$	$0,65 \pm 0,04$	29. $1514,80 \pm 0,42$	$3,65 \pm 0,40$
6.	$539,75 \pm 0,19$	≈ 100	30. $1590,29 \pm 0,75$	$< 0,30$
7.	$552,16 \pm 0,19$	$145,0 \pm 6$	31. $1602,77 \pm 0,33$	$7,5 \pm 0,6$
8.	$590,41 \pm 0,26^a$	$0,25 \pm 0,03$	32. $1628,22 \pm 0,67$	$0,21 \pm 0,03$
9.	$672,83 \pm 0,24^a$	$0,45 \pm 0,05$	33. $1632,84 \pm 0,57^a$	$0,29 \pm 0,03$
10.	$761,29 \pm 0,43$	$2,8 \pm 0,5$	34. $1639,04 \pm 0,98^a$	$0,24 \pm 0,03$
11.	$841,32 \pm 0,33^a$	$0,14 \pm 0,02$	35. $1646,84 \pm 0,75^a$	$0,18 \pm 0,02$
12.	$855,92 \pm 0,22^a$	$0,27 \pm 0,03$	36. $1677,86 \pm 0,69$	$0,28 \pm 0,03$
13.	$900,12 \pm 0,60^a$	$0,52 \pm 0,06$	37. $1735,72 \pm 0,44$	$0,83 \pm 0,0^y$
14.	$974,24 \pm 0,51^a$	$0,65 \pm 0,09$	38. $1748,69 \pm 0,44$	$0,30 \pm 0,03$
15.	$990,98 \pm 0,64^a$	$0,32 \pm 0,05$	39. $1773,75 \pm 0,47$	$0,46 \pm 0,05$
16.	$1000,82 \pm 0,34$	$9,6 \pm 0,5$	40. $1790,20 \pm 0,96$	$0,18 \pm 0,02$
17.	$1012,15 \pm 0,28^a$	$0,42 \pm 0,04$	41. ($1812,81 \pm 0,99$)	$< 0,20$
18.	$1032,45 \pm 0,65^a$	$0,20 \pm 0,03$	42. $1886,70 \pm 0,86$	$0,24 \pm 0,03$
19.	$1041,48 \pm 0,62^a$	$0,30 \pm 0,03$	43. $1899,02 \pm 0,47$	$1,8 \pm 0,4$
20.	$1063,24 \pm 0,66$	$0,40 \pm 0,04$	44. $1919,25 \pm 0,67$	$0,21 \pm 0,03$
21.	$1091,95 \pm 0,47$	$35,4 \pm 1,7$	45. $1965,15 \pm 0,45$	$0,30 \pm 0,03$
22.	$1203,84 \pm 0,81$	$0,40 \pm 0,05$	46. $1971,0 \pm 1,0$	$0,15 \pm 0,02$
23.	$1282,43 \pm 0,67$	$0,25 \pm 0,03$	47. $2021,08 \pm 0,75$	$0,21 \pm 0,02$
24.	$1359,85 \pm 0,45$	$1,9 \pm 0,2$	48. $2042,66 \pm 0,47$	$1,4 \pm 0,1$

	E_{γ} , КэВ	\mathcal{J}_{γ} отн.	E_{β} , КэВ	\mathcal{J}_{β} отн.
49.	2058,76±0,60	0,35±0,03	76. 2622,74±0,83	0,25±0,02
50.	2066,76±0,32	5,7±0,3	77. 2647,85±0,8	0,10±0,02
51.	2082,38±0,54	0,35±0,04	78. 2681,23±0,47	0,25±0,03
52.	2110,54±0,54	0,25±0,03	79. 2728,73±0,69	0,25±0,03
53.	2131,06±0,84	0,40±0,04	80. 2792,61±0,65	0,21±0,02
54.	2140,85±0,72	0,35±0,04	81. 2808,74±0,48	0,35±0,04
55.	2154,87±0,34	0,65±0,07	82. 2842,13±0,65	0,19±0,02
56.	2171,02±0,63	0,40±0,04	83. 2931,29±0,86	0,16±0,02
57.	2188,95±0,70	0,40±0,03	84. 2942,13±0,68	0,10±0,02
58.	2204,2±1,0	0,15±0,02	85. 2981,62±0,87	0,15±0,02
59.	2216,24±0,68	0,35±0,04	86. (3027,0±1,0)	< 0,10
60.	2240,74±0,44	1,3±0,1	87. (3037,0±1,0)	< 0,10
61.	2270,19±0,42	0,68±0,07	88. 3153,61±0,79	0,10±0,01
62.	2275,0±1,0	0,45±0,09	89. 3174,90±0,78	0,12±0,02
63.	2291,62±0,72	0,30±0,03	90. 3200,65±0,84	0,14±0,02
64.	2313,65±0,35	1,2±0,09	91. 3262,66±0,80	0,85±0,09
65.	2351,85±0,40	0,57±0,06	92. 3280,3±1,0	0,12±0,02
66.	2368,82±0,47	0,28±0,03	93. 3362,0±1,0	0,11±0,02
67.	2379,77±0,39	0,55±0,06	94. 3471,12±0,95	0,22±0,02
68.	2389,5 ±1,0	0,20±0,02	95. 3579,6±1,0	0,15±0,02
69.	2439,5±1,0	0,25±0,02	96. 3709,0±1,0	0,15±0,02
70.	2450,78±0,32	1,35±0,15	97. 1547,06 ± 0,67	0,19± 0,03
71.	2460,43±0,47	0,25±0,03		
72.	2469,87±0,48	0,28±0,03		
73.	2558,92±0,85	0,29±0,03		
74.	2596,02±0,72	0,30±0,03		
75.	2613,07±0,76	0,20±0,02		

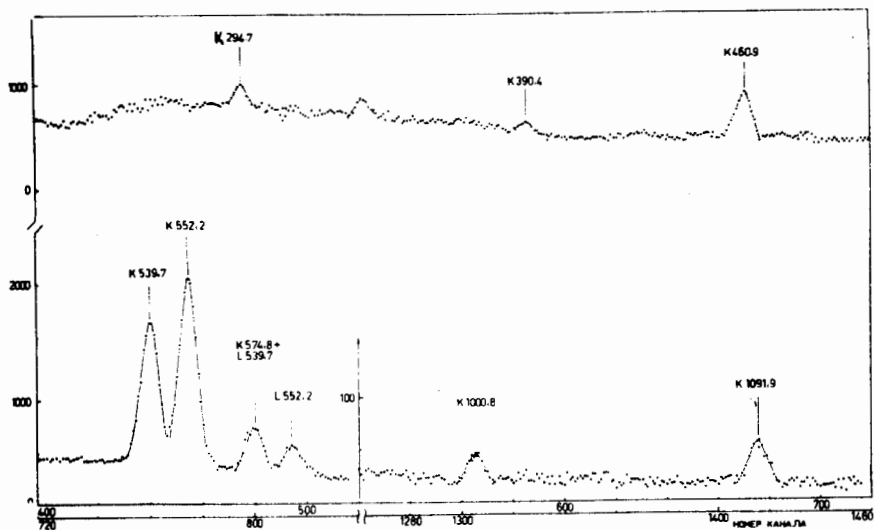
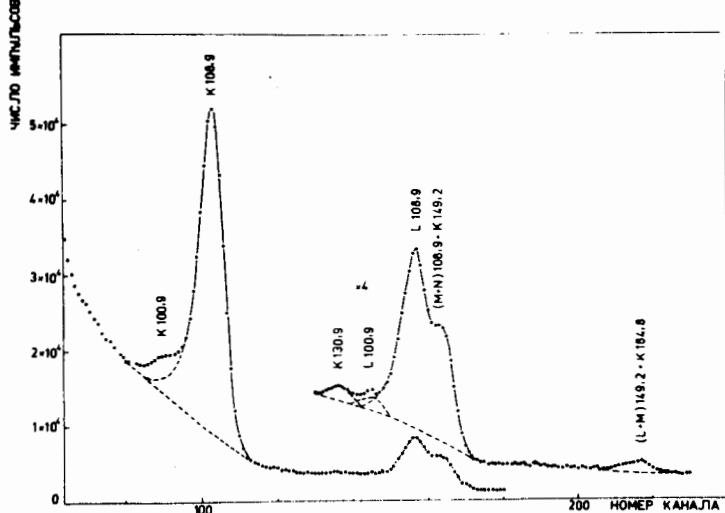


Рис.3 Участки спектра электронов внутренней конверсии, измеренные на бета-спектрометре с однородным магнитным полем и Si(Li)-детектором.

Таблица 3

Сведения об электронах внутренней конверсии ^{136}Nd и ^{136}Pr

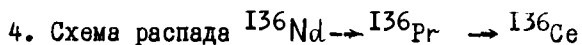
E_{γ} кэВ	Область лучей	γ_e отн.	γ_{γ} отн.	α эксп.	α теор.			Вывод о мульти- польности
					E1	E2	M1	
100,9	K L	3690±740 550±165	2,47±0,25	1,52±0,45	0,2I	I,2	I,I	M1
108,9	K L	54700±5470 9180±920	57,4±4,5	0,97±0,15	0,165	0,96	0,88	M1+(2,8±0,3)%E2 ^{a)}
130,9	K	600±100	0,95±0,10	0,63±0,16	0,100	0,54	0,53	E2; M1
144,5	K	≤ 800	2,24±0,23	≤ 0,43	8,0(-2)	0,42	0,40	E1, M1, E2
149,2	K ^{б)} L+M ^{в)}	3200±480 560±110	11,6±1,2	0,28±0,08 0,048±0,014	7,2(-2)	0,36 0,16	0,31 6,0(-2)	M1; E2 M1
184,8	K ^{г)}	≤ 250	0,82±0,16	≤ 0,30	4,1(-2)	0,182	0,196	E1, M1; E2
294,7	K	68±10	1,46±0,19	(4,7±1,3)(-2)	1,1(-2)	4,4(-2)	5,7(-2)	E2, M1
390,4	K	36±12	1,55±0,23	(2,35±1,05)(-2)	5,8(-3)	1,82(-2)	2,75(-2)	E2, M1
460,8	K	162±16	14,6±0,7	1,13±0,17(-2)	3,9(-3)	1,12(-2)	1,55(-2)	E2
535,1	K	27±12	1,58±0,25	1,75±0,85(-2)	2,7(-3)	7,9(-3)	1,2(-3)	M1, (E2)
539,8	K	760±50	100	7,7±0,5(-2)	2,72(-3)	7,36(-2)	1,11(-2)	E2
552,2	K L	1000 143±15	145±6	7,0(-3)	2,57(-3)	7,0(-3)	1,00(-2)	E2
574,8	K ^{д)}	160±28	16,7±0,8	9,7±2,1(-3)	2,3(-3)	6,6(-3)	1,02(-2)	M1, E2
1000,8	K	14,5±3,5	9,6±0,5	1,53±0,46(-3)	7,8(-4)	1,74(-3)	2,55(-3)	E2
1091,9	K	45,0±4,5	35,4±1,7	1,29±0,19(-3)	6,4(-4)	1,42(-3)	2,04(-3)	E2

а) Согласно I/; б) $\gamma_{K149+(M+N)109} = 5500 \pm 550$. Вклад $\gamma_{(M+N)109}$ оценен из $(M+N)/L = 0,25$
 в, г) $\gamma_{(L+M)149+K185} = 660 \pm 80$. Вклад $\gamma_{(L+M)149}$ оценен из $\alpha_K/\alpha_{L+M}(M1) = 5,8$ д) $\gamma_{K574+L570} = 276 \pm 28$.
 Вклад $L540$ оценен из $\alpha_L/\alpha_K(E2) = 6,5$

в табл.3. Там же указаны установленные нами КВК (α_k и α_L) и выводы о мультипольностях некоторых переходов.

3.4. Гамма-гамма-совпадения

Измерения гамма-гамма-совпадений проводились с сепарированным источником ^{136}Nd , размещенным между двумя $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторами с объемом 20 и 25 см³. Изучались совпадения с гамма-лучами 539,8; 552,2 и 761,3 кэВ. Обнаруженные каскады совпадений на схеме распада ^{136}Pr помечены светлыми кружками.



4.1. Построение схемы распада ^{136}Nd

Предлагаемая схема распада ^{136}Nd изображена на рис.4. Кроме уровней 108,8 и 683,7 кэВ /1/, введены еще 7 новых уровней. Все уровни введены на основе баланса энергий гамма-переходов с учетом баланса интенсивностей. В β^+ -спектре $^{136}\text{Nd} + ^{136}\text{Pr}$ мы, кроме компоненты с $E_{\text{гр}} = 2980$ кэВ (^{136}Pr), наблюдали также компоненту с $E_{\text{гр}} \approx 900$ кэВ, которую мы относим к распаду ^{136}Nd . Энергия распада ^{136}Nd , поэтому, около 2000 кэВ.

Ядро $^{136}_{60}\text{Nd}_{76}$ четно-четное и имеет $J^\pi = 0^+$. Установленные нами ранее характеристики $^{136}\text{Pr} - J^\pi = 2^+$ недавно были подтверждены в прямых измерениях /17/.

Вероятности заселения уровней рассчитаны из баланса интенсивностей гамма-переходов. Интенсивности гамма-переходов выражены в процентах на распад через сравнение их с интенсивностями гамма-лучей дочернего ^{136}Pr . Квантовые характеристики $J^\pi = 1^+$ приписаны уровням 100,7; 108,8; 149,2; 293,8 и 683,7 кэВ на основании мультипольностей высвечивающих их гамма-переходов и скоростей соответствующих бета-переходов. На том же основании состояние 240,9 кэВ имеет спин и четность 0^+ или 2^+ .

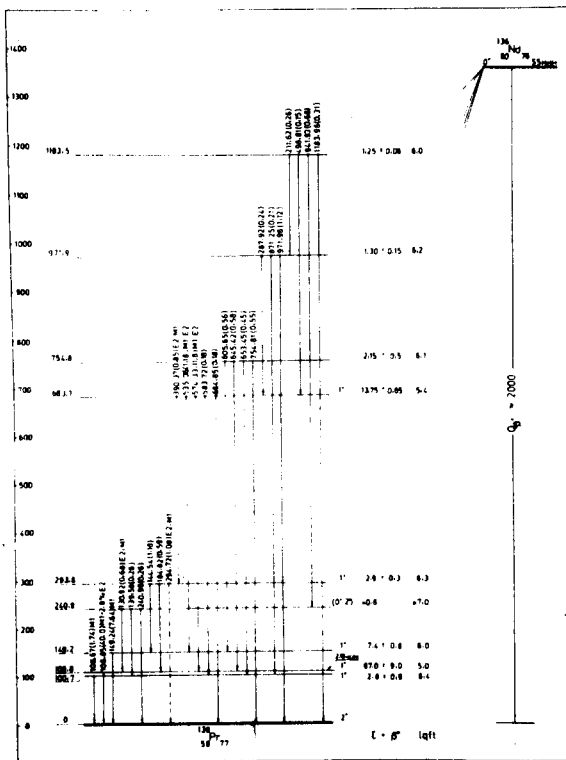


Рис.4 Схема распада ^{136}Nd (55,0 мин)

4.2. Построение схемы распада ^{136}Pr

Значительная часть обнаруженных при распаде ^{136}Pr гамма-переходов размещена в схему распада (рис.5). Уровни введены на основании баланса энергий и интенсивностей гамма-переходов, а также результатов гамма-гамма-совпадений. Величина $Q_{\beta^+} = 5084 \pm 50$ кэВ принята согласно /1/.

Бета-переход $^{136}\text{Pr} (2^+) \rightarrow ^{136}\text{Ce} (0^+)$ - второго запрета, поэтому мы предполагаем, что бета-распад на основное состояние ^{136}Ce отсутствует. Сумма интенсивностей гамма-переходов в основное состояние принята за 100% распадов ^{136}Pr . Если все неразмещенные переходы идут в основное состояние, то они существенно не изменят баланса интенсивности.

В схему распада ^{136}Pr введены новые уровни 1076,1; 2827,7; 2941,7; 2991,5; 3011,2; 3200,5; 4023,3 кэВ. Схема также значительно дополнена новыми переходами, размещенными между известными уровнями. Мультипольность E2-переходов 460,9; 539,8; 552,2; 1000,8 и 1091,9 кэВ и значения $\lg ft$ соответствующих бета-переходов позволяют установить квантовые характеристики уровней 552,2 (2^+), 1092,0 (2^+) и 1553,0 кэВ (3^+). Уровень 1076,1 кэВ введен по энергетическим соображениям. Квантовые характеристики $J^{\pi} = 0^+$ приписаны ему, прежде всего, на основании систематики свойств ядер с $N = 78,80$ (рис.6). Этим характеристикам не противоречат вероятность заселения уровня бета-распадом ($\lg ft > 8$) и отсутствие гамма-лучей с $E_{\gamma} = 1076$ кэВ.

Для всех уровней с $E > 2$ МэВ величины $\lg ft \approx 6 \div 7$, что указывает на разрешенный или первого запрета тип соответствующих бета-переходов. Уровням 2006, 2154, 2595, 2682, 2942 и 3200 можно

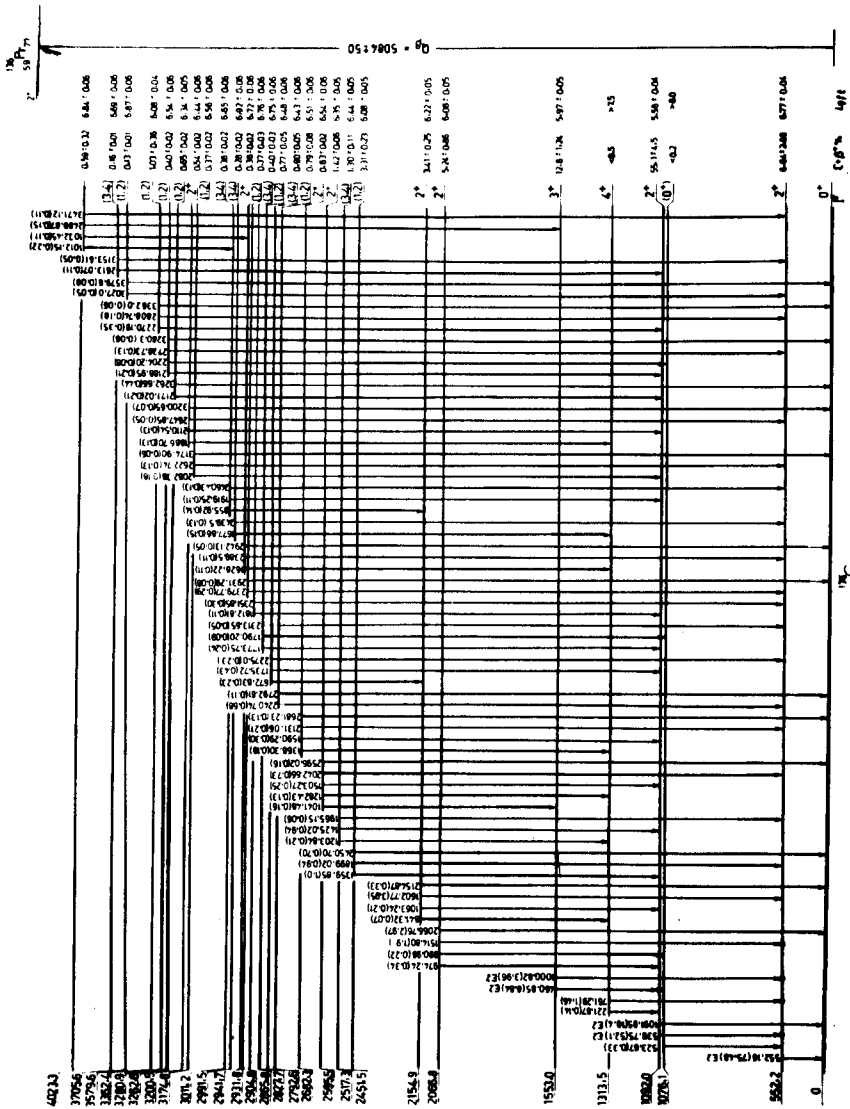


Рис.5 Схема распада ^{136}Pr (12,9 мин).

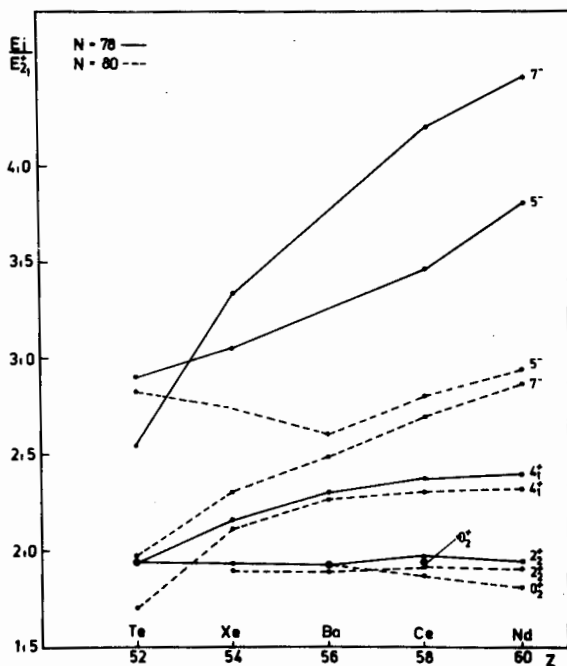


Рис.6 Систематика энергий возбужденных состояний 0^+ , 2^+ , 4^+ , 5^- и 7^- в ядрах-изотонах с $N = 78$ и 80 .

приписать $I^\pi = 2^+$ т.к. с этих уровней наблюдаются переходы на состояния 4^+ , 2^+ , 0^+ .

Уровням 245I, 2792, 2865, 293I, 3I74, 3262, 3280, 3362, 3579 кэВ мы приписали характеристики $I^\pi = 1^{\pm}, 2^+$, ввиду способа разрядки на состояния 2^+ и 0^+ .

Состояния 25I7, 2827, 2904, 299I, 30II, 3705 кэВ высвечиваются переходами на 2^+ и 4^+ уровни, поэтому более предпочтительнее приписать им $I^\pi = (3^{\pm}, 4^{\pm})$.

4.3. Обсуждение результатов

Ядро $^{136}_{59}\text{Pr}$ 77 - нечетно-нечетное, поэтому его состояния будут определяться связью неспаренных нуклонов. Конфигурации мультиплетов уровней таких ядер в рамках модели оболочек (правила Бреннана-Бернштейна) определяются по данным о состояниях в соседних нечетных ядрах.

Как известно /18,19/, самыми нижними состояниями в $^{137}_{59}\text{Pr}$ 78 являются: $d_{5/2}$, $g_{7/2}$ и "коллективные" уровни $5/2^+$, $3/2^+$, $1/2^+$ с энергиями 0,75, 306, 313 и 382 кэВ. В ядрах-изотопах $^{135}_{58}\text{Ce}$ 77 и $^{137}_{60}\text{Nd}$ 77 нижние уровни интерпретированы как: $s_{1/2}$, $d_{3/2}$, $h_{11/2}$ и коллективное состояние типа $[2^+ + s_{1/2}]$. Уровню 108,8 кэВ ^{136}Pr приписана /1/ конфигурация $I^{\pi} [p d_{5/2}, n d_{3/2}]$ на основании разрешенного типа соответствующего бета-перехода. Основное состояние ^{136}Pr с $J^{\pi} = 2^+$ может относиться или к конфигурации $[p d_{5/2}, n s_{1/2}]$, или к $[p g_{7/2}, n d_{3/2}]$. Свойства перехода 108,8 кэВ ($T_{1/2} = 2,18$ нсек /20/, $\delta^2(E2/M1) = 2,8\%$, $F^M_{\text{замед.}}(M1) \approx 430$, $F^M_{\text{увк}}(E2) \approx 24$) характерны для ℓ -запрещенных переходов $p d_{5/2} \rightarrow p g_{7/2}$, в то время как M1-переходы $n d_{3/2} - n s_{1/2}$ заторможены в ≈ 50 раз. Поэтому основное состояние ^{136}Pr принадлежит конфигурации $[p g_{7/2}, n d_{3/2}]$.

Это допущение фактически исходит из предположения, что ядра ^{136}Pr и ^{136}Ce имеют заметную деформацию ($\epsilon \approx 0,1$ /23/). Тогда основному состоянию ^{136}Pr можно приписать одну из возможных нильсоновских конфигураций $[p\ 5/2^+ / 4i3/, n\ 1/2^+ / 4ii/]$.

При сравнении энергий уровней изотонов с $N = 78$ и 80 (рис.6) интересно отметить плавный переход энергии состояний 4_1^+ , 2_2^+ , 0_2^+ , 5^- , 7^- от ядра к ядру. Такое поведение указывает на коллективную или квазинейтронную природу состояний. Уровни 4_1^+ и 2_2^+ мы выделяем в полосы основного и квазигамма-состояния, а уровень 0_2^+ можно рассматривать как головное состояние квазибета-полосы. Уровни 5^- и 7^- можно отнести к мультиплету $[n_1(h_{1/2})^{-1}, n_2(d_{3/2})^{-1}]$, но исключено, что состояние 5^- может относиться к конфигурации $[n_1(s_{1/2}), n_2(h_{1/2})]$.

Таким образом, низколежащие состояния в ^{136}Ce удается описать как коллективные, а при энергии возбуждения $E > 2$ Мэв начинают проявляться состояния, обязанные разрыву пар в нейтронной (и протонной) оболочке.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность В.П.Афанасьеву, И.И.Громовой, Н.А.Лебедеву, Э.Херрманну, Х.Тырроффу, А.А.Александрову, В.М.Мосяку, Я.Полаховой, В.Боновой, М. Неновой за большую помощь при выполнении настоящей работы.

1. Ж.Т.Желев и др. Изв.АН СССР, сер.физ., 32, 1610 (1968).
2. В.П.Афанасьев и др. Прогр.и тез.докл.ХХI ежегодн.сов.по ядерн. спектроск.и структ.ат.ядра, часть I, Изд."Наука"М., 1971, стр.79.
3. Г.Ю.Байер и др. Препринт ОИЯИ Д6-5783, дубна, 1971.
4. T.H.Handley and E.L.Olson. Phys.Rev.96 (1954) 1003.
5. G.T.Danby, J.S.Foster and A.L.Thompson. Can. J. Phys., 36 (1958) 148.
6. М.Э.Абдель Мохсен и др. Прогр.и тез.докл.ХХI ежегодн.сов.по яд. спектроск.и структ.ат.ядра. часть I, Изд."Наука", М., 1971, стр.7.
7. B.N.Ketelle et al. Bull.Am.Phys.Soc., 10 (1965) 83.
8. A.R.Brosi, B.N.Ketelle, J.R.Van Hise. ORNL-3994 (1966).
9. D.Ward, F.S.Stephens, R.M.Diamond. Nucl.Phys. A117 (1968) 365.
10. G.L.Smith, J.E.Draper. Phys.Rev., C1, (1970) 1548.
11. M.Sakai. INS. J.130, Japan, 1971, p.33.
12. B.N.Ketelle et al. Phys.Rev., C, 4, 1431 (1971).
13. В.С.Бутцев и др. Препринт ОИЯИ, Р6-6804, дубна, 1972 г.
14. В.С.Бутцев и др. Препринт ОИЯИ, Р6-6519, дубна, 1972 г.
15. Р.Арльт и др. Препринт ОИЯИ Р6-6227, дубна, 1972 г.
16. G.Beyer et al. Report JINR, E13-6671, Dubna, 1972.
17. С.Екстрём et al. Nucl.Phys., A196, 178 (1972).
18. В.С.Бутцев и др. Препринт ОИЯИ Р6-6804, дубна, 1972 г.
19. Ch.Droste et al. Nucl.Phys., A152, 579 (1970).
20. T.Badica et al. Report JINR, D-3393 (1968) p.21.
21. В.П.Афанасьев и др. Изв.АН СССР, сер.физ. 35 (1971) 1603.
22. H.Kawakami et al. INS Univ.of Tokiyo, Annual Report (1971) p.40.
23. D.A.Arseniev et al. Nucl.Phys., A126 (1969) 15.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1972 года.