

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

6-84-388

А.А.Абдуразаков,¹ Ц.Вылов, Ж.Желев,²
Т.А.Исламов,³ В.Г.Калинников,
М.М.Михайлова, А.Х.Холматов¹

ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ
НЕЧЕТНО-НЕЧЕТНОГО ЯДРА ^{132}La

Направлено в Известия АН СССР,
серия физическая

¹ Ташкентский государственный университет

² ИЯИЯЕ БАН, София

³ НИИ ПФ ТашГУ

1984

ВВЕДЕНИЕ

Исследованию возбужденных состояний нечетно-нечетных ядер переходной области с $A = 130 \div 140$ посвящено относительно мало экспериментальных и теоретических работ. Экспериментальные исследования ядер этой области показали, что при β -распаде четно-нечетных ядер в дочерних ядрах возбуждается большое число состояний с $I^\pi = 1^+$ /см., например, ^{1,2/} /, но лишь некоторые из них представилось возможным интерпретировать в рамках модели оболочек как двухквaziчастичные. Поэтому в теоретических исследованиях делались попытки объяснить низколежащие состояния нечетно-нечетных ядер взаимодействием одночастичного движения двух неспаренных нуклонов с вибрационными состояниями четно-четного остова соседних ядер. Делалось также предположение о деформируемости ядер с $A = 130 \div 140$. При этом, в частности, может быть объяснено появление аномально большого числа состояний 1^+ в спектрах нечетно-нечетных ядер ^{3/}.

В настоящей работе изучены спектры γ -лучей и электронов внутренней конверсии /ЭВК/, возникающих при распаде ¹³²Ce, и получены новые данные о свойствах дочернего нечетно-нечетного ядра ¹³²La.

Ранее радиоактивный распад ¹³²Ce / $T_{1/2} = 3,51/11/$ ч ^{4/} / изучался в ^{5-8/}. В этих работах измерены спектры γ -лучей ^{5-7/}, ЭВК ^{7-8/}, γ - γ -совпадений ^{6/} и построена схема распада ¹³²Ce ^{6/}. Более полная схема распада ¹³²Ce представлена в ^{9/}. Наши предварительные результаты были опубликованы в ^{10-12/}.

1. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Нейтрондефицитный нуклид ¹³²Ce был получен в реакции глубокого расщепления гадолиния протонами с энергией 660 МэВ на синхротронном ускорителе ЛЯП ОИЯИ. Время облучения составляло 2 \div 5 час. Сумму редкоземельных радионуклидов выделяли из мишени методом анионообменной хроматографии. Затем производилось разделение лантанидов на отдельные фракции методом катионообменной хроматографии.

Источники для γ -спектрометров приготавливались из фракции ¹³²Ce путем разделения ее на изобары с помощью электромагнитного масс-сепаратора. Для исследования спектров ЭВК источник приготавливался методом электролиза из фракции церия. Подложкой служила платиновая проволока диаметром 0,1 мм.

Гамма-излучение ¹³²Ce исследовано при помощи спектрометров с ⁶Ce(Li)-детекторами объемом 0,8 и 38 см³ с энергетическим разрешением 550 эВ на γ -линии с $E_\gamma = 120$ кэВ и - 1,9 кэВ на γ -линии с $E_\gamma = 1300$ кэВ. Подробности методики измерения и обработки γ -спектров изложены в ^{13/}. Спектр ЭВК ¹³²Ce изучен с помощью бета-спектрографа с постоянным магнитным полем ^{14/} при разрешении 0,03-0,07%. Электроны регистрировались фотопластинками типа P-50. Обработка полученных спектров ЭВК - определение энергий и относительных интенсивностей - проводилась при помощи ЭВМ CDC-6500 и автоматизированного микрофотометра ^{15/} на линии с ЭВМ ЕС-1010. С целью получения сведений о слабоинтенсивных γ -переходах фотопластинки со спектрами ЭВК активировали радиоактивной серой-35 и путем автордиографии получали ряд фотопластинок с усиленными изображениями линий ЭВК ^{16/}.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование спектров γ -лучей и ЭВК ¹³²Ce в диапазоне энергий от 10 до 850 кэВ позволило наблюдать 56 γ -переходов, из них 36 - новых. Полученные результаты: энергии γ -переходов, относительные интенсивности γ -лучей и линий ЭВК - представлены в табл.1 и 2. На рис.1 и 2 показаны участки спектров γ -лучей ¹³²Ce и ЭВК цериевой фракции соответственно. В табл.1 приведены сведения только об ЭВК γ -переходов, для которых определены К- и L-линии ЭВК. Значения относительных интенсивностей γ -лучей и К-линий для всех наблюдаемых нами γ -переходов представлены в табл.2, где также приведены наши выводы о мультипольности γ -переходов и о размещении этих переходов в схеме распада ¹³²Ce. Для связи шкал относительных интенсивностей γ -лучей и ЭВК в табл.2 мы использовали расчетное ^{17/} значение коэффициента внутренней конверсии на К-оболочке для перехода 182,1 кэВ типа E1: $\alpha_K = 0,0388$. Мультипольный состав этого и следующих γ -переходов - 26,65 кэВ - M1 + 0,06/2/% E2/см. рис.3/; 34,71 кэВ - M1 + 0,08/3/% E2; 61,49 кэВ - M1 + 0,16/7/% E2; 62,27 кэВ - M1 + 0,21/6/% E2; 142,18 кэВ - M1,E2; 155,37 кэВ - E1; 190,04 кэВ - M1, E2 и 251,46 кэВ - M1, E2- был определен из отношений интенсивностей L₁-, L₂- и L₃-линий ЭВК. Из отношения L₁- и L₂-линий ЭВК определены мультипольности γ -переходов с энергиями: 112,35; 123,66; 127,72; 137,66; 176,84; 329,64 и 424,67 кэВ. Вывод о мультипольности γ -переходов 78,2; 83,43 и 368,51 кэВ был сделан из отношений К- и L₁-линий ЭВК. Мультипольности остальных γ -переходов были определены на основании экспериментальных значений α_K . В итоге для 38 γ -переходов были определены мультипольности, из них для 27 - впервые. Заключение о мультипольности для остальных γ -переходов согласуются с данными ^{7-9/}.

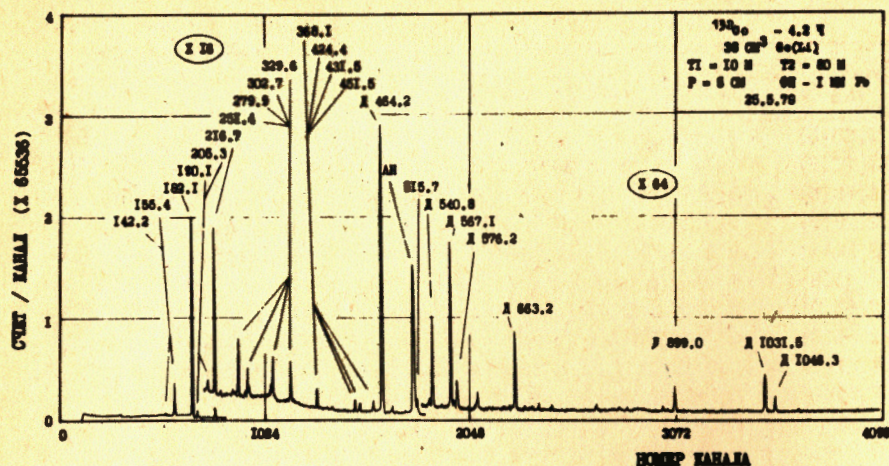


Рис.1. Спектр γ -лучей ^{132}Ce , измеренный $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором чувствительным объемом 38 см^3 . γ -лучи дочернего ^{132}La обозначены буквой D; AI - аннигиляционное излучение.

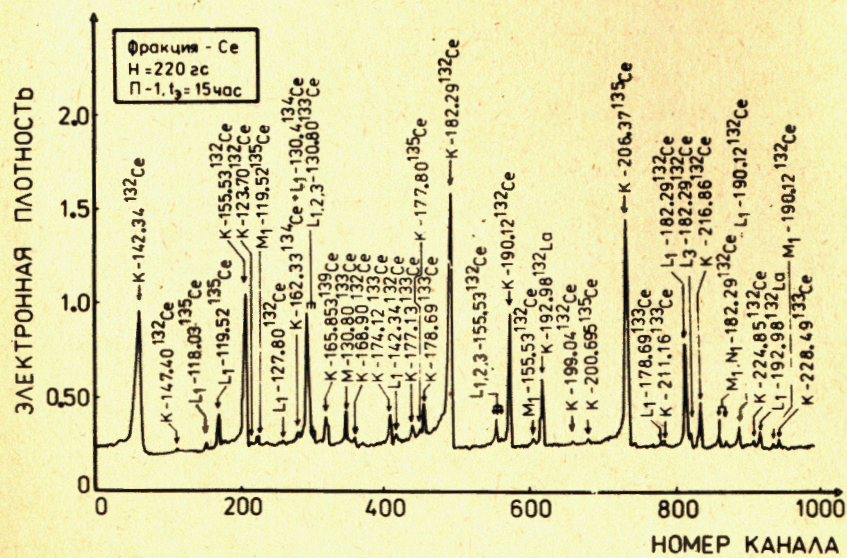


Рис.2. Участок спектра ЭВК изотопов цезия.

Таблица 1
Сведения об электронах внутренней конверсии ^{132}Ce

$E_{\gamma} (\Delta E_{\gamma})$ кэВ	$I_{\gamma} (\Delta I_{\gamma})$	$I_{L_1} (\Delta I_{L_1})$	$I_{L_2} (\Delta I_{L_2})$	$I_{L_3} (\Delta I_{L_3})$
26,65(5)	-	0,89(12)	0,097(8)	0,035(4)
34,71(5)	-	0,47(8)	0,047(8)	$\approx 0,016$
61,49(5)	1,01(12)	0,12(2)	0,012(2)	$\approx 0,003$
62,27(6)	0,52(8)	0,066(8)	0,0058(8)	$\approx 0,002$
78,2(1)	0,019(4)	0,0031(8)	-	-
83,43(6)	0,039(8)	0,0046(8)	-	-
112,35(9)	0,031(4)	0,005(1)	-	-
123,66(9)	0,066(8)	0,008(2)	$\leq 0,002$	-
127,72(9)	0,062(8)	0,008(2)	$\leq 0,002$	-
137,66(10)	0,050(6)	0,006(1)	$\approx 0,002$	-
142,18(8)	0,23(4)	0,028(6)	0,004(1)	$\leq 0,002$
155,37(4)	0,75(8)	0,082(8)	0,009(2)	0,012(1)
176,84(7)	0,054(12)	0,008(2)	$\approx 0,002$	-
182,11(3)	3,88	0,43(6)	0,043(6)	0,054(6)
190,04(5)	0,60(6)	0,09(1)	0,008(1)	$< 0,004$
216,83(4)	0,16(3)	0,017(3)	0,0016(4)	0,0019(4)
251,46(4)	0,25(3)	0,031(4)	0,0050(8)	0,0023(4)
329,64(4)	0,097(12)	0,012(3)	$< 0,002$	-
368,51(5)	0,035(7)	0,006(1)	-	-
424,67(3)	0,027(7)	0,004(1)	$< 0,001$	-

Примечание: интенсивность K-182,11 кэВ принята за 3,88.

Таблица 2
Данные о γ -переходах при распаде ^{132}Ce

$E_{\gamma} (\Delta E_{\gamma})$ кэВ	$I_{\gamma} (\Delta I_{\gamma})$	$I_{K} (\Delta I_{K})$	Мультипольность	$I (\Delta I_{\text{полн. полн.}})$	$E_{\text{H}} \rightarrow E_{\text{K}}$
^{132}Ce 20,00(5)	$\leq 0,06$				155-135
^{132}Ce 26,65(5)	0,28(3)				182-155
^{132}Ce 34,71(5)	0,46(5)				217-182
^{132}Ce 47,73(6)	0,10(1)				407-359
^{132}Ce 61,49(5)	0,24(2)	1,0(1)			217-155
^{132}Ce 62,27(6)	0,13(1)	0,52(8)			279-217
^{132}Ce 76,2(1)	$\leq 0,02$	0,16(4)			
^{132}Ce 78,2(1)	$\leq 0,015$	0,019(4)	MI, E2		485-407
^{132}Ce 81,53(7)	$\leq 0,015$	0,006(3)	E1		217-135

I	2	3	4	5	6
⁸³ 43(6)	≤0,015	0,039(8)	MI, E2	0,07(2)	732-648
⁸⁸ 20(7)	≤0,015	≤0,015	(MI, E2)	≈0,4	820-732
¹¹² 35(9)	0,030(4)	0,031(3)	E2	0,064(6)	
¹²³ 66(9)	0,10(1)	0,066(8)	MI, E2	0,21(2)	279-155
¹²⁵ 19(9)		0,012(3)		0,04(1)	732-607
¹²⁷ 72(9)	0,12(1)	0,062(8)	MI, E2	0,20(3)	407-279
¹³⁴ 1(1)		0,016(4)			
¹³⁵ 26(9)	0,046(6)	0,019(4)	MI	0,068(9)	135-0
¹³⁷ 66(10)	0,10(1)	0,050(6)	MI, E2	0,17(2)	
¹⁴² 18(8)	0,64(5)	0,23(4)	MI, E2	0,90(6)	359-217
¹⁴⁷ 4(1)		0,008(3)		0,008(3)	
¹⁵⁵ 37(4)	13,6(6)	0,75(8)	EI	14,6(6)	155-0
¹⁶⁸ 9(1)		0,008(3)			
¹⁷⁶ 84(7)	0,250(13)	0,05(1)	MI, E2	0,31(2)	359-182
¹⁸² 11(3)	≈100	≈3,88	EI	104,53	182-0
¹⁹⁰ 04(5)	3,45(15)	0,59(6)	MI, E2	4,1(2)	407-217
¹⁹⁹ 78(5)	0,172(17)	0,024(4)	MI, E2	0,19(2)	607-407
²⁰⁵ 80(8)	0,180(18)	≤0,02	MI, E2	0,20(4)	485-279
²¹⁶ 83(4)	6,37(32)	0,16(3)	EI	6,6(3)	217-0
²¹⁷ 6(1)		0,004(1)			
²²⁴ 68(10)	0,23(3)	0,019(3)	MI, E2	0,26(3)	407-182
²⁴⁶ 90(7)	0,24(3)	0,016(4)	MI, E2	0,26(3)	732-485
²⁵¹ 46(4)	2,9(2)	0,25(3)	MI, E2	3,2(2)	407-155
²⁶⁸ 13(5)	0,61(6)	0,027(3)	MI, E2	0,65(6)	485-217
²⁷⁹ 12(7)	2,5(3)	0,03(1)	EI	2,54(30)	279-0
²⁹⁶ 00(12)		0,006(2)		0,13(4)	820-524
³⁰³ 12(4)	2,7(2)	0,13(3)	MI, E2	2,9(3)	485-182
³²⁴ 82(7)	0,16(2)	0,008(2)	MI, E2	0,17(2)	732-407
³²⁷ 69(8)		0,003(1)		0,09(3)	607-279
³²⁹ 64(4)	3,0(2)	0,097(12)	MI, E2	3,1(2)	485-155
³⁶⁸ 51(5)	1,46(10)	0,035(7)	MI, E2	1,5(1)	524-155
³⁶⁹ 15(5)		0,005(1)		0,18(4)	648-279
³⁸⁴ 7(1)		0,003(1)			
³⁸⁹ 83(5)	0,25(3)	0,005(1)	MI, E2	0,25(3)	607-217
⁴²⁴ 67(3)	1,5(1)	0,027(6)	MI, E2	1,5(1)	607-182
⁴³¹ 49(4)	1,25(9)	0,019(4)	MI, E2	1,3(1)	648-217
⁴⁵¹ 44(3)	2,9(2)	0,029(7)	MI, E2	2,9(2)	607-155
⁴⁶⁰ 94(6)		0,003(1)		0,25(9)	820-359

⁴⁶⁶ 26(8)		0,004(1)		0,3(1)	648-182
⁴⁹² 95(9)		0,005(1)		0,4(1)	648-155
⁴⁹⁸ 7(1)		0,010(3)			
⁵¹⁴ 8(1)		0,004(1)		0,35(9)	732-217
⁵²³ 78(4)	0,54(6)	≤0,0019	EI	0,54(6)	524-0
⁵⁷⁶ 38(3)	1,3(1)	0,008(1)	MI, E2	1,3(1)	732-155
⁶⁰⁶ 73(7)	0,20(3)			0,20(3)	607-0
⁷³¹ 68(8)	0,090(14)			0,09(1)	731-0
⁸²⁰ 34(10)	0,15(2)			0,15(2)	820-0

Примечание: "н" - новые γ -переходы; в скобках - неразмещенные γ -переходы.

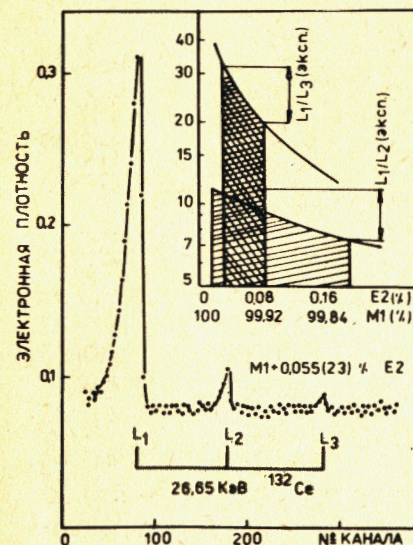


Рис.3. К определению мультипольного состава γ -перехода 26,65 кэВ ¹³²Ce.

3. СХЕМА РАСПАДА ¹³²Ce

На основании полученных данных о γ -лучах и ЭВК нами предлагается схема распада ¹³²Ce /см. рис.4/. Почти все отнесенные к распаду ¹³²Ce γ -переходы, кроме переходов 112,35; 134,1; 147,4; 168,9; 217,6; 384,7 и 498,7 кэВ, размещены в схеме уровней ¹³²La. Суммарная интенсивность γ -переходов, не размещенных в схеме распада, составляет менее 1% всех распадов ¹³²Ce. Введены новые уровни ¹³²La с энергиями 279,1 и 820,0 кэВ. На основе

$$Q_{\text{сум}} = \frac{Q_{\text{сум}}}{Q_{\text{EC}}} = \frac{1400 \text{ кэВ}}{3514} = 0,398$$

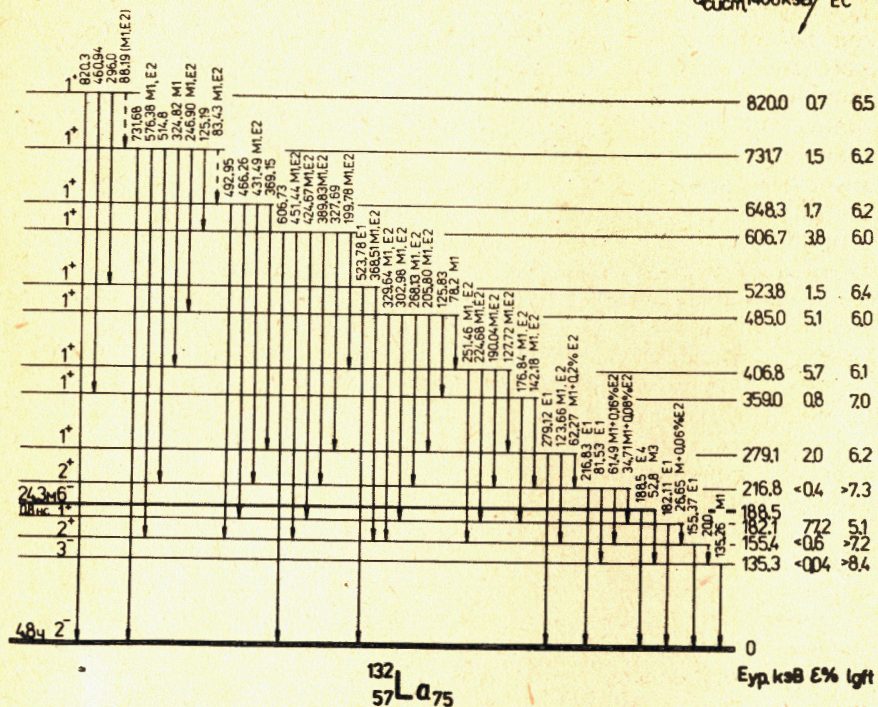


Рис. 4. Схема распада ^{132}Ce .

полученных нами экспериментальных данных с учетом интенсивности характеристического K_{α} -излучения рассчитаны интенсивности заселения уровней ^{132}La при распаде ^{132}Ce электронным захватом. Как видно из схем распада ^{132}Ce , наибольшая доля /77,2%/ электронного захвата идет на уровень 182,1 кэВ. Используя значения разности масс $^{132}\text{Ce} - ^{132}\text{La} / Q_{\text{EC}} = 1400 \text{ кэВ}$ из /9/ и баланс интенсивностей, мы вычислили величины $\lg ft$ для электронного захвата на уровни ^{132}La .

Спин основного состояния ^{132}La измерен в /18/, он равен 2. Спин и четность основного состояния $^{132}\text{La}_{75}$ могут быть описаны, если предположить, что нечетные нейтрон и протон дают в него такой же вклад, как в соседних нечетных по A ядрах с такими же нечетными Z и N. Спин основного состояния $^{138}\text{La}_{78}$: $I^\pi = 5/2^+$ ($d_{5/2}$), а в $^{131}\text{Ba}_{75}$ нижний уровень с отрицательной четностью является "аномальным" изомерным состоянием с $I^\pi = 9/2^-$ /а не $h_{11/2}$ /. Это приводит к конфигурации основного состояния $^{132}\text{La}_{75}$, $p(d_{5/2})n(9/2^-)$ и, следовательно, его можно рассматривать как "аномальное" двухкомпонентное состояние.

Первый возбужденный уровень 135,3 кэВ /3⁻/ разряжается прямым переходом 135,3 кэВ на основное состояние. Ранее /9/ этот переход был обнаружен только при распаде 24-минутного ^{132}La /67/. В наших измерениях при распаде ^{132}Ce этот переход наблюдается. По-видимому, уровень 135,3 кэВ заселяется при распаде ^{132}Ce за счет ранее неизвестных γ -переходов 20,0 и 81,53 кэВ с более высокоэнергетических состояний ^{132}La .

Полученные нами сведения о мультипольностях γ -переходов при распаде ^{132}Ce и экспериментальные данные о вероятностях β -переходов ($\lg ft$) на уровни ^{132}La позволяют уровням 155,4 и 216,8 кэВ приписать квантовые характеристики $I^\pi = 2^+$. Эти же аргументы позволяют нам предложить характеристики $I^\pi = 1^+$ для всех остальных уровней ^{132}La /см. рис. 4/.

Некоторые заключения о структуре уровней 182,1 и 155,4 кэВ можно сделать из анализа приведенной вероятности связывающего их $M1 + 0,06/2\%$ $E2$ -перехода с энергией 26,7 кэВ. Зная время жизни состояния 182,1 кэВ / $T_{1/2} = 0,83/11/ \text{ нс}^{19/}$ /, с учетом наших экспериментальных данных можно утверждать, что факторы торможения для $M1$ -компоненты $F_{\text{зам.}}^{M1} = 390$ и ускорения для $E2$ -компоненты $F_{\text{зам.}}^{E2} = 5,3$ для γ -перехода 26,7 кэВ хорошо согласуются с систематикой /20/ ℓ -запрещенных переходов типа $p(d_{5/2} \rightarrow g_{7/2})$. Для объяснения таких значений факторов, учитывая, что β -переход на уровень 182,1 кэВ является разрешенным, неза- торможенным / $\lg ft = 5,1/$ /, можно предполагать, что этот уровень относится к мультиплету конфигурации $[p(d_{5/2}), n(d_{3/2})]_{1^+}$. Тогда уровень 155,4 кэВ с $I^\pi = 2^+$ может иметь конфигурацию $[p(g_{7/2}), n(d_{3/2})]_{2^+}$.

Авторы выражают благодарность проф. К.Я.Громову за полезные обсуждения и ценные замечания, Н.А.Лебедеву и Г.А.Кононенко за помощь в приготовлении радиоактивных источников и фотометрировании фотопластинок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдумаликов А.А. и др. ОИЯИ, Р6-81-489, Дубна, 1981.
2. Исламов Т.А. и др. ОИЯИ, Р6-84-220, Дубна, 1984.
3. Саломов Д.И. В кн.: "Программа и тезисы докладов XXV совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра", "Наука", Л., 1975, с. 198.
4. Genrke R.J., Helmar R.G. J. Inorg. Nucl. Chem., 1976, 38, p. 1929.
5. Gerschel C. et al. Nuovo Cimento, 1965, 37, 4, p. 1756.
6. Gerschel C. Compt Rend., 1967, 265, 8, B508.
7. Abdul-Malek A. et al. Nucl. Phys., 1968, 108, 2, p. 401.
8. Абдумаликов А.А. и др. ОИЯИ, Р-2236, Дубна, 1965.
9. Table of Isotopes, New-York, Ed. M. Lederer et al., 1978.

10. Громов К.Я. и др. В кн.: "Программа и тезисы докладов XXXIII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра". "Наука", Л., 1983, с. 92.
11. Вылов Ц. и др. В кн.: "Программа и тезисы докладов XXXIII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра", "Наука", Л., 1983, с. 91.
12. Абдуразаков А.А. и др. В кн.: "Программа и тезисы докладов XXXIV совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра", "Наука", Л., 1984, с. 102.
13. Вылов Ц. и др. Спектры излучений радиоактивных нуклидов. ФАН, Ташкент, 1980.
14. Абдуразаков А.А. и др. Бета-спектрографы с постоянными магнитами. ФАН, Ташкент, 1970.
15. Исламов Т.А. и др. ОИЯИ, Р10-12794, Дубна, 1979.
16. Громова И.И. и др. ОИЯИ, Р6-82-487, Дубна, 1982.
17. Hager R.S., Seltzer E.C. Nucl.Data, 1968, A4, p. 1.
18. Ekstrom C. Institute of Phys., Uppsala, Sweden, 1972.
19. Морозов В.А. и др. ЯФ, 1973, т. 17, вып. 4, с. 670.
20. Марупов Н.З. и др. ОИЯИ, Р6-9005, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 июня 1984 года.

Абдуразаков А.А. и др. 6-84-388
Возбужденные состояния нечетно-нечетного ядра ^{132}La

Проведены исследования спектров γ -лучей и электронов внутренней конверсии ^{132}Ce . Наблюдены 56 γ -переходов, из них 36 - новые. Для 36 γ -переходов были определены мультипольности, из них для 27 - впервые. Полученные экспериментальные результаты при распаде ^{132}Ce позволили приписать квантовые характеристики 2^+ уровням ^{132}La с энергиями 155,4 и 216,8 кэВ и 1^+ уровням 182,1; 279,1; 359,0; 406,8; 485,0; 523,8; 606,7; 648,3; 731,7 и 820,0 кэВ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Abdurasakov A.A. et al. 6-84-388
Excited States of Odd-Odd ^{132}La Nucleus

Spectra of γ -rays and internal conversion electrons of ^{132}Ce are investigated. 56 γ -transitions are observed, 36 of them being new. For 36 γ -transitions multipolies are determined, for 27 of them - for the first time. The experimental results obtained at the ^{132}Ce decay permit to ascribe the quantum characteristics to 2^+ level of ^{132}La with 155.4 and 216.8 keV energies; and to 1^+ level with 182.1; 279.1; 359.0; 406.8; 485.0; 523.8; 606.7; 648.3; 731.7; 820.0 keV energies.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984