

## ФИЗИКА

Ц. Б. ВАСИЛЕВ, Н. В. ФОРАФОНТОВ, В. С. ШПИТЕЛЬ

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ РАСПАДА $\text{Ce}^{144}$ МЕТОДОМ СОВПАДЕНИЙ

На установке, состоящей из  $\beta$ -спектрометра и люминесцентного  $\beta(\gamma)$ -спектрометра, включенных в схему совпадений, исследовалась схема распада  $\text{Ce}^{144}$ . Результаты полученные по  $\beta-e^-$ ,  $e^-e^-$  и  $e^-\gamma$ -совпадениям согласуются со схемой распада, построенной по другим данным в работе [11]. Найден новый переход 147 кэв, для которого в схему распада приходится ввести дополнительный уровень.

#### Введение

В настоящее время опубликован ряд работ по схемам распада  $\text{Ce}^{144}$  [1—13]. Несмотря на относительно небольшое число  $\gamma$ -линий, предлагаемые в этих работах схемы сильно отличаются друг от друга. Это связано с тем, что  $\text{Ce}^{144}$  имеет близкие по энергии мягкие  $\beta$ -спектры и  $\gamma$ -переходы. Переходы с энергией 34 и 41 кэв в результате большого коэффициента конверсии имеют слабую интенсивность в  $\gamma$ -спектре и, кроме того, находятся в непосредственной близости с  $x$ -лучами (имеющими энергию 36 кэв), с которыми они сливаются в один общий пик при исследовании на люминесцентном спектрометре. В  $\gamma$ -спектре  $\text{Ce}^{144}$  кроме  $x$ -лучей отчетливо проявляются только две линии: 80 и 134 кэв. Эти обстоятельства сильно затрудняют работу по  $\gamma-\gamma$ - и  $\gamma-e^-$ -совпадениям. До сего времени исследования, выполненные на  $\beta$ -спектрометрах, не позволили окончательно выяснить состав сложного  $\beta$ -спектра  $\text{Ce}^{144}$  и существование ряда слабых конверсионных линий.

В результате распада  $\text{Ce}^{144}$  возбуждаются уровни нечетно-нечетного ядра  $\text{Pr}^{144}$ . Случаи таких радиоактивных переходов на уровни нечетно-нечетного ядра являются сравнительно редкими и сведения о возбужденных состояниях таких ядер очень ограничены. С целью выяснения ряда нерешенных вопросов в схеме распада  $\text{Ce}^{144}$  нами предприняты измерения  $\beta-e^-$ ,  $e^-e^-$ ,  $\gamma-e^-$  и  $e^-\gamma$ -совпадений.

#### Источник

Источник  $\text{Ce}^{144}$  был приготовлен из радиоактивного раствора  $\text{CeCl}_3$ . В момент получения источник имел удельную активность 7,6 мкюри/мл и активное загрязнение не превышало 1%. Выдержка препарата в течение 2,5 лет позволила исключить радиоактивные примеси из изотопов

со сравнительно небольшими периодами полураспада (например,  $\text{Ce}^{141}$  с периодом полураспада, равным 32 дня). Источник диаметром 7 мм и толщиной 0,025 мг/см<sup>2</sup> был приготовлен путем выпаривания раствора на капроновую подложку толщиной 0,89 мг/см<sup>2</sup>. Для снятия заряда с источника он был алюминизирован методом вакуумного распыления. Была снята кривая пропускания электронов капроновой пленкой толщиной 0,89 мг/см<sup>2</sup>; для электронов с энергией больше 50 кэВ пропускание близко к 100%.

### Установка

Установка для измерения  $\beta$ - $e^-$ ,  $e^-$ - $e^-$  и  $\gamma$ - $e^-$ -совпадений состояла из двухлинзового  $\beta$ -спектрометра и люминесцентного  $\beta(\gamma)$ -спектрометра, включенных в схему совпадений [14]. Двухлинзовый  $\beta$ -спектрометр имел разрешение 3,3% и светосилу 2% от полного телесного угла. Регистрация электронов осуществлялась люминесцентным  $\beta$ -счетчиком с кристаллом антрацена толщиной 3—4 мм и диаметром 10 мм. Световые вспышки из кристалла антрацена передавались к фотоумножителю ФЭУ-37 через плексиглазовый светопровод длиной 50 мм и диаметром 25 мм. Люминесцентный спектрометр состоял из умножителя ФЭУ-34 и кристалла антрацена или NaI(Tl), прикрепленных непосредственно к фотокатоду умножителя. В работе применялись кристаллы антрацена диаметром 12 мм с толщиной 0,5 мм («тонкий» кристалл) и 5 мм («толстый» кристалл) и кристалл NaI(Tl) диаметром 30 мм высотой 12 мм. Разрешение кристаллов антрацена для конверсионных электронов

$$\text{Cs}^{137} (E_e = 624 \text{ кэВ}) - 15\%.$$

Разрешение кристалла NaI(Tl) для  $\gamma$ -лучей  $\text{Cs}^{137}$  ( $E = 661,5$  кэВ) 9%. Телесный угол, под которым виден кристалл люминесцентного спектрометра из источника, составляет 20% от полного телесного угла [15]. Фотоумножители были защищены от влияния магнитного поля двухлинзового  $\beta$ -спектрометра [12].

Импульсы с анодов умножителей подавались на предусилители ( $K = 20$ , полоса 20 мГц), и там же они формировались. В работе применялась схема совпадений типа БДС-1 (с переменной задержкой), установленная на разрешающее время  $\tau \sim 2 \cdot 10^{-8}$  сек. Импульсы, снимаемые с диода фотоумножителя люминесцентного  $\beta(\gamma)$ -спектрометра, усиливались неперегруженным усилителем [16] с максимальным усилением 1200. С усилителя импульсы поступали на линейную схему пропускания. После схемы пропускания стоял одноканальный дискриминатор и пересчет.

### Методика измерений

Измерения  $\beta$ - $e^-$  и  $e^-$ - $e^-$ -совпадений производились либо со всеми электронами, регистрируемыми люминесцентным  $\beta$ -спектрометром (интегральные совпадения), либо с отдельными участками спектра, выделяемыми окном дифференциального дискриминатора.

Большая часть этих измерений выполнена с «тонким» (0,5 мм) антраценовым кристаллом. Его эффективность к самым мягким  $\gamma$ -лучам  $\text{Ce}^{144}$  (34 кэВ) не более 4% и в то же время эффективность к электронам близка к 100%. При интегральных совпадениях импульсы регистрировались непосредственно после схемы совпадений.

Кристаллы антрацена использовались в работе как с открытой поверхностью (при регистрации самых мягких электронов), так и с по-

верхностью, покрытой отражателем (алюминизированной целлулоидной пленкой толщиной  $0,03 \text{ мг/см}^2$ ).

Сравнение интенсивностей конверсионных линий в спектре совпадений и в одиночном спектре позволило проверить различные варианты схем распада.

Количественные соотношения для интегральных  $\beta$ - $e^-$ - и  $e^-$ - $e^-$ -совпадений и для дифференциальных  $x$ - $e^-$ -совпадений для всех предложенных схем распада производились по формулам, аналогичным работе [17]. Для каждой схемы распада вычислялись величины отношений типа:

$$\frac{\frac{I^{L-}}{I^{K-134}}}{\frac{N^{L-}}{N^{K-134}}}, \quad (*)$$

где  $I$  и  $N$  интенсивности (площади пиков) конверсионных линий в спектре совпадений и одиночном спектре (см. табл. 1, графы 2, 3, 4, 5). Необходимые для вычислений значения коэффициентов конверсии для всех схем распада, брались из работы [11], в которой они вычислялись наиболее точно.

Таблица 1

Работа	$\frac{I^{L-34}}{I^{K-134}} / \frac{N^{L-34}}{N^{K-134}}$		$\frac{I^{L-41}}{I^{K-134}} / \frac{N^{L-41}}{N^{K-134}}$	
	при совпадениях			
	$\frac{\beta - e^-}{e^- - e^-}$	$x - e^-$	$\frac{\beta - e^-}{e^- - e^-}$	$x - e^-$
[6]	0,35	1,62	1,37	1,77
[7]	1	0	1,46	0,57
[1] и [8]	0,95	0,03	1,14	0,49
[10]	1,13	0,33	0,96	0
[11]	1,47	0,31	1,12	0,20
Наши результаты	1,31	0,30	0,94	0,23

Для измерения  $e^-$ - $\gamma$ -совпадений использовался 100-канальный дискриминатор АИ-100, который открывался схемой совпадений.

### Измерения

#### ОДИНОЧНЫЙ СПЕКТР

Энергии конверсионных электронов, полученные в одиночном спектре, приведены в табл. 2. Из-за недостаточного разрешения  $\beta$ -спектрометра у нас не полностью разделяются конверсионные линии  $L-34$ ,  $KLL$ -оже и  $L-41$ , которые взаимно перекрываются. Линия  $L-41$ , кроме того, находится на подъеме большой конверсионной линии  $K-80$ .

Определение относительных интенсивностей производилось графическим разложением. Погрешности в полученных значениях интенсивностей не превышают 10%.

Таблица 2

Наши результаты					Интенсивность в одиночном спектре, работа [11]	Другие авторы			Работа
энергия электронов в <i>кэВ</i>			интенсивность в одиночном спектре	переход		энергия электронов в <i>кэВ</i>	интенсив- ность	переход	
в одиночном спек- тре	в спектре интег- ральных совпада- ний	при совпадении с электронами > 240 <i>кэВ</i>							
	18,5			?					
24 ± 1	24 ± 1	—		<i>K</i> —66	нет	24	~1,4	<i>K</i> —66	[10]
27	27	—	~18	<i>L</i> —34	16,5				
30	30	—		<i>KLL</i> -оже					
		31,5							
33	32	—		<i>M</i> —34	3,2				
34,5	35	—		<i>KLY</i> -оже					
34,5	35	—	17	<i>L</i> —41	14,5				
38	38	—	67	<i>K</i> —80	62,9				
						44,5	0,5	<i>K</i> —86,5	[10]

48	47	—	3	L-53	2,1				
						49,2	1,2	?	[10]
53	—	—	14	L-59	11,3				
						54,3	0,5	?	[10]
						55,7	0,7	?	[10]
						58,6	0,6	L-66	[10]
59	59,5	—	5	M-59+K-100	4,0				
64	64,5 ?	—	~0,8 ?			65	0,4	M-66	[10]
73	73	73	10	L-80	8,5				
77	77 ?								
79	79	78	2	M-80	1,7	79,5	0,4	{M-80 L-86	[10]
83	82,5	82							
						85,7	0,3	M-86,5	[10]
87	?	87							

Наши результаты					Интенсивность в одиночном спектре, рабо- та [11]	Другие авторы			Работа
энергия электронов в $K\alpha$			интенсивность в одиночном спектре	переход		энергия электронов в $K\alpha$	интенсив- ность	переход	
в одиночном спек- тре	в спектре интег- ральных совпа- дений	при совпадении с электронами $>$ 240 $K\alpha$							
91	91	—	100	$K-134$	100				
—	102	102	—	?					
					0,1	103,2		$K-145,2$	[6]
106 ?	106	—	$\sim 0,2$	$K-148$					
111 ?	112	—	$\sim 0,2$	?					
120 ?									
126	126	—	13	$L-134$	14				
					$< 1,0$	138,6	0,2	$L-145,4$	[6]
					$< 1,0$	143,7	0,2	$M-145,3$	[6]
						188	0,06	$K-230$	[3]
						233	0,09	$L-233$	[3]

Интегральные совпадения. Спектр интегральных совпадений снимался при определенном положении переменной задержки схемы совпадений. В табл. 2 (графа 2) даны линии, которые мы считаем надежно установленными в этом спектре. Для правильного измерения относительной интенсивности конверсионных линий при  $\beta$ - $e^-$  и  $e^-$ - $e^-$ -совпадениях в связи с большой разрешающей способностью схемы совпадений важна правильная установка задержки в каналах схемы совпадений. Поэтому для каждой из интересующих нас конверсионных линий ( $L$ —34,  $L$ —41,  $K$ —80,  $K$ —134) мы строили зависимость площади пика от величины задержки. Из этих данных были определены отношения (\*), приведенные в табл. 1 (графы 2 и 4).

Интегральные совпадения с  $\beta$ -частицами с энергией выше заданной величины. Для выяснения вопроса о том, какие из наблюдаемых в одиночном спектре и спектре интегральных совпадений конверсионные линии не принадлежат  $Ce^{144}$ , а связаны или с  $Pg^{144}$  или с примесями, снимался спектр совпадений с электронами с энергией  $> 240$  кэв (240 кэв — граничная энергия наиболее жесткого из связанных с  $\gamma$ -излучением  $\beta$ -спектров  $Ce^{144}$ ). Те конверсионные линии, которые мы считаем не принадлежащими  $Ce^{144}$ , помещены в табл. 2 в графе 3.

Особенно подробно таким методом был исследован участок спектра между  $K$ —134 и  $L$ —134 конверсионными линиями. Эти измерения произведены с «толстым» (5 мм) кристаллом антрацена.

Уже в одиночном спектре в этом районе наблюдается два или три слабых пика. При интегральных совпадениях эти пики проявляются значительно лучше (рис. 1, а). Из этого рисунка видно, что можно говорить с большой уверенностью о наличии одного пика с энергией  $106 \pm 2$  кэв. Кроме того, замечается выступ у основания линии  $K$ —134 (его энергия  $102 \pm 2$  кэв) и еще один очень слабый пик с энергией  $112 \pm 2$  кэв. На рис. 1, б приведен спектр совпадений с электронами с энергией до 50 кэв. В этом случае пики 106 и 112 кэв проявляются лучше. На рис. 1, в дан спектр совпадений с электронами, имеющими энергию  $> 100$  кэв.

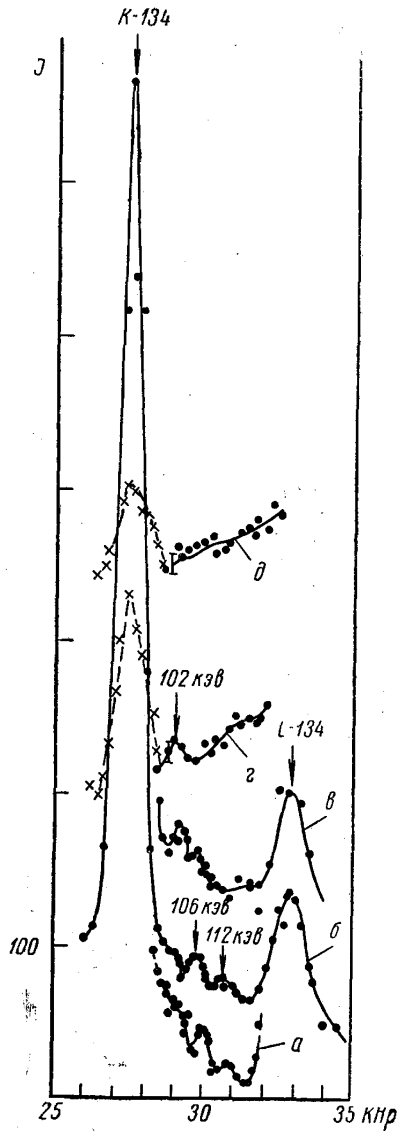


Рис. 1. Спектр  $\beta$ - $e^-$ ,  $e^-$ - $e^-$ -совпадений  $Ce^{144}$  в районе от 84 до 140 кэв; а — интегральные совпадения; б — совпадения с электронами  $< 50$  кэв, регистрируемыми люминесцентным  $\beta$ -спектрометром; в — совпадения с электронами  $> 100$  кэв; г — совпадения с электронами  $> 240$  кэв, д — совпадения с электронами  $> 400$  кэв

При этом пик с энергией 112 кэв полностью пропадает; наличие пика 106 кэв можно поставить под сомнение, но зато хорошо выделяется пик с энергией 102 кэв. На рис. 1, г дан спектр совпадений с электронами, имеющими энергию  $> 240$  кэв. Видно, что пики 106 и 112 кэв полностью пропали, а остается пик 102 кэв. Этот пик исчезает при совпадении с электронами, имеющими энергию  $> 400$  кэв (рис. 1, д). Таким образом, этот пик не может принадлежать  $\text{Ce}^{144}$  и можно считать, что существует пик конверсионных электронов с энергией  $106 \pm 2$  кэв, который связан с  $\beta$ -спектром с энергией  $< 240$  кэв. При нашей статистической точности существование пика 112 кэв следует считать ненадежным. Пик  $106 \pm 2$  кэв не может принадлежать  $\text{Ce}^{141}$ , так как конверсионная линия 103 кэв этого изотопа ( $K-145$ ) связана с  $\beta$ -спектром с граничной энергией 620 кэв. Пик от конверсионной линии  $K-134$  (на рис. 1, г, д) связан с применением «толстого» кристалла, регистрирующего также  $x$ -лучи.

Дифференциальные совпадения. При этих совпадениях окном дискриминатора выделялся определенный участок из спектра, регистрируемого люминесцентным  $\beta$ -спектрометром. С помощью двухлинзового спектрометра снимался спектр совпадений интересующих нас конверсионных линий ( $K-34$ ,  $KLL$ -оже,  $L-41$ ,  $K-80$  и  $K-134$ ). На рис. 2 приведены относительные интенсивности этих конверсионных линий в зависимости от энергии электронов, выделяемой люминесцентным  $\beta$ -спектрометром. Точки на этом рисунке отвечают середине энергетического интервала, выделяемого окном дискриминатора. Кривые *a*, *б*, *в* получены, когда магнитный спектрометр выделял электроны: 34,5 кэв ( $L-41 + KLY$ -оже), группу  $KLL$ -оже и  $L-34$  соответственно. В группе электронов 34,5 кэв присутствуют  $KLY$ -оже-электроны. После внесения поправки на вклад в величину  $J^{L-41+KLL}/J$ , вносимую этой группой оже-электронов, получается прямая *г*. Это показывает, что переход 41 кэв не дает совпадений с переходом 134 кэв. Максимум на кривой *б* (в области 90 кэв) соответствует совпадениям с линией  $K-134$ .

Кривая *в* показывает, что линия  $L-34$  не находится в каскаде с линией 134 кэв. Подъем в начале и в конце кривой обусловлен причинами, которые рассматриваются в разделе: Обсуждение результатов измерений, пункт 3.

#### ИЗМЕРЕНИЕ $\beta$ - $e$ -СОВПАДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ПОГЛОЩЕНИЯ

Методом  $\beta$ - $e$ -совпадений в сочетании с методом поглощения определена максимальная энергия  $\beta$ -спектров, связанных с некоторыми переходами. Поглотитель (набор капроновых пленок толщиной  $0,89$  г/см<sup>2</sup>) помещался между источником и кристаллом антрацена в люминесцентном  $\beta$ -спектрометре и измерялись совпадения между конверсионными электронами ( $L-34$ ,  $KLL$ -оже,  $L-41$ ,  $K-80$ ,  $K-134$ ) и  $\beta$ -электронами. Из зависимости между толщиной поглотителя в г/см<sup>2</sup> и логарифмом интенсивности в условных единицах (площади конверсионных пиков) рассчитаны максимальные энергии  $\beta$ -спектров. Для линий  $L-34$ ,  $L-41$  и  $K-134$  все они оказались равными  $185 \pm 10$  кэв. Для линии  $K-80$  максимальная энергия  $\beta$ -спектра равна  $210 \pm 10$  кэв (рис. 3, *a*, *б*).

Из рис. 3, *в*, *г*, *д*, где дана зависимость между толщиной поглотителя и логарифмом относительных интенсивностей для линий  $L-34$ ,



$L-41$ ,  $K-80$  к линии  $K-134$  также видно, что линии  $L-34$ ,  $L-41$  и  $K-134$  связаны с одним и тем же спектром. Для линий  $L-41$  сделана поправка на  $KLY$ -оже-электроны (см. раздел: Обсуждение результатов измерений, пункт 5).

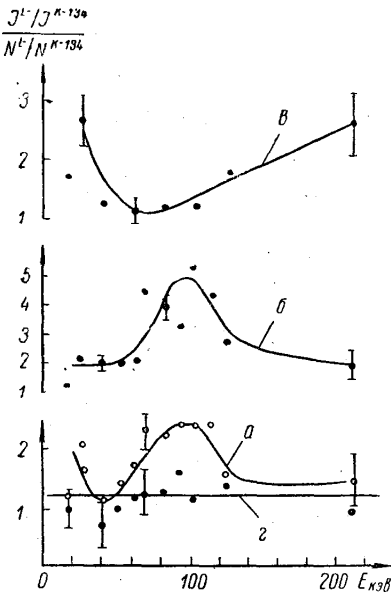


Рис. 2. Дифференциальные  $\beta-e^-$ ,  $e^-e^-$ -совпадения; а —  $L-41 + KLY$ -оже-электроны; б —  $KLY$ -оже-электроны; в —  $L-34$ ; г —  $L-41$  ( $KLY$ -оже-электроны вычтены)

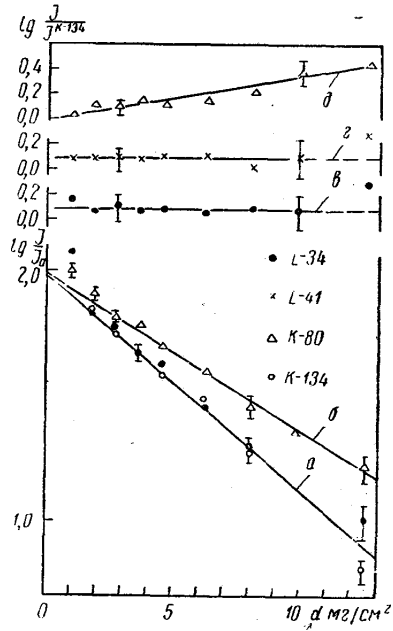


Рис. 3. Кривые поглощения: а — зависимость логарифма интенсивности в условных единицах (измерена по площади пика) для  $L-34$  (•) и  $K-134$  (•) линий от толщины поглотителя; б — то же для линии —  $K-80$ ; в — зависимость логарифма относительной интенсивности  $L-34$  линии от толщины поглотителя; г — то же для  $L-41$  линии (вклад  $KLY$ -оже-электронов вычтен); д — то же для  $K-80$  линии

### $\gamma-e^-$ -СОВПАДЕНИЯ

При измерении  $\gamma-e^-$ -совпадений окно дифференциального дискриминатора устанавливалось на определенную область энергий  $\gamma$ -лучей и снимался  $\beta$ -спектр, совпадающий с этой областью энергий. Окно дифференциального дискриминатора устанавливалось поочередно на фотопик от  $x$ -лучей, на фотопик от  $\gamma$ -линии 80 кэВ (рис. 4, а), на область энергий между 80 и 134 кэВ;  $\gamma$ -линию 100 кэВ (рис. 4, б) и на фотопик от  $\gamma$ -линии 134 кэВ (рис. 4, в). Как видно из рисунков 4, а и 4, б, конверсионная линия  $K-66$  совпадает с  $\gamma$ -линией 80 кэВ и с областью энергий в районе 100 кэВ, а из рис. 4, в следует, что она не совпадает с  $\gamma$ -линией 134 кэВ. Малая интенсивность конверсионных линий  $L-34$  и  $L-41$  по сравнению с линиями  $K-80$  и  $K-134$  в спектре совпадений с  $x$ -лучами указывает, что эти линии не совпадают с интенсивными пе-

реходами 80 или 134 кэв. По интенсивностям линий в одиночном спектре и в спектре совпадений было вычислено отношение (\*) (табл. 1, графы 3, 5).

### $e^- - \gamma$ СОВПАДЕНИЯ

Гамма-спектр совпадений с линией  $L-34$  приведен на рис. 5, а. Чтобы учесть вклад электронов  $\beta$ -спектра снимались также совпадения с  $\beta$ -спектром (рис. 5, б) (энергия электронов 31 кэв). Разностная кривая 5, в показывает, что линия  $L-34$  дает совпадение с  $\gamma$ -переходами 41 и 100 кэв.

### Обсуждение результатов измерений

Несмотря на значительное различие между предложенными до сих пор схемами распада  $Ce^{144}$  все они имеют два общих элемента каскады 53—80 кэв и 34—100 кэв. Первый из этих каскадов был экспериментально доказан методом  $\gamma-\gamma$ -совпадений в работе [9] и  $x-e^-$ -совпадений в работе [10].  $\gamma-\gamma$ -совпадения между квантами 34 и 100 кэв были обнаружены в работе [7], но эти совпадения нельзя считать однозначным доказательством, поскольку, как уже говорилось, переход 34 кэв практически неотличим от  $x$ -лучей.

В работе [7] было доказано, что нет совпадений между  $x$ -лучами и  $\gamma$ -лучами 134 кэв, но это еще не исключает каскада между переходом 34 или 41 и 134 кэв, допускаемого в других работах, поскольку эти линии могут быть сильно конвертированы на  $L$ -оболочке.

Далее мы рассмотрим полученные нами результаты для каждой конверсионной линии по порядку возрастания их энергии.

### КОНВЕРСИОННАЯ ЛИНИЯ 24,5 КЭВ ( $K-66$ )

Эта линия была обнаружена впервые в работе [10]. В наших измерениях эта линия проявлялась как в одиночном спектре, так и в спектре интегральных совпадений. Эта линия проявлялась в спектре  $\gamma-e^-$ -совпадений с  $\gamma$ -лучами 80 кэв (рис. 4, а) и в  $\gamma-e^-$ -совпадениях с  $\gamma$ -лучами в области 100 кэв (рис. 4, б). В результате можно утверждать, что эта линия совпадает с переходом 80 кэв.

### КОНВЕРСИОННАЯ ЛИНИЯ 27 КЭВ ( $L-34$ )

Интенсивность линии  $L-34$  по отношению к линии  $K-134$  в спектрах интегральных  $\beta-e^-$ ,  $e^-e^-$ -совпадений и в спектре  $x-e^-$ -совпадений близка к значению, отвечающему схемам распада, предложенным Гайгером [11] и Фриманом [10], и очень сильно отличается от всех других схем распада (табл. 1, графа 3). При измерениях  $\gamma-e^-$ -совпадений пик  $L-34$  получается только при установке дискриминатора в районе 100 кэв (рис. 4, б). Совпадения 34—134 кэв нами не обнаружены. Совпадения 34—100 кэв наблюдаются и при  $e^- - \gamma$ -совпадениях (рис. 5).

Если допустить, что в схеме Фримана действительно существуют два перехода с энергией 34 кэв, то наши результаты указывают на то, что основная доля интенсивности конверсионной линии  $L-34$  должна быть обусловлена переходом, намеченным на схеме Фримана пунктиром. Интенсивность перехода, находящегося в каскаде с переходом 134 кэв, должна быть пренебрежимо мала.

Интерес представляет пик, появляющийся в спектре  $e^- - \gamma$ -совпадений в области  $x$ -лучей (рис. 5, в). Поскольку результаты  $x-e^-$ -сов-

падения определенно указывают на то, что не может быть совпадений между  $L-34$  и рентгеном от какого-нибудь сильного  $K$ -перехода, то правдоподобным является объяснение, что  $L-34$  совпадает с переходом  $41$  кэв, т. е. пик, появляющийся в области  $x$ -лучей при  $e^-$ — $\gamma$ -совпадениях, является  $\gamma$ -излучением  $41$  кэв.

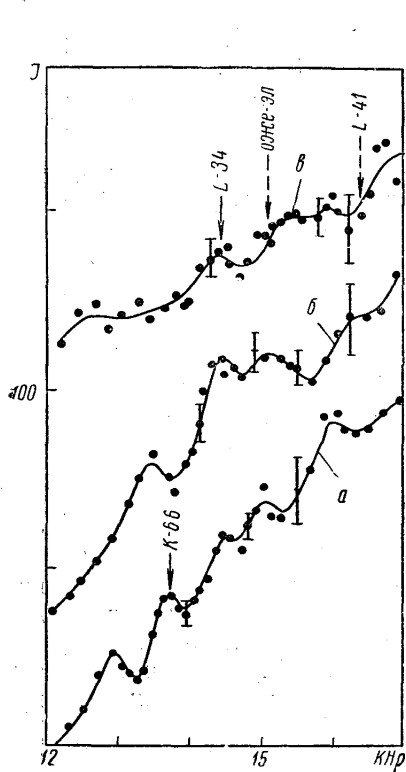


Рис. 4. Спектр  $\gamma$ — $e^-$ -совпадений:  $a$  — совпадения с  $\gamma$ -линией  $80$  кэв;  $b$  — совпадения с районом  $\gamma$ -линии  $100$  кэв;  $v$  — совпадения с  $\gamma$ -линией  $134$  кэв

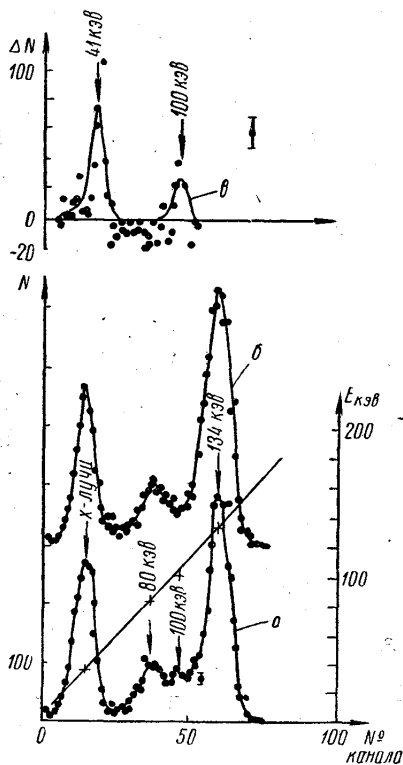


Рис. 5. Спектр  $e^-$ — $\gamma$ -совпадений:  $a$  — совпадения с конверсионной линией  $L-34$ ,  $b$  — совпадения с  $\beta$ -спектром,  $v$  — разность кривых  $a$  и  $b$

Из кривых поглощения, приведенных на рис. 3, следует, что  $K-134$ ,  $L-34$  и  $L-41$  обусловлены одним и тем же  $\beta$ -переходом.

Все эти результаты согласуются со схемой распада Гайгера. Тогда подъем в области малых энергий при дифференциальных совпадениях с линией электронов  $L-34$  (рис. 2,  $v$ ) объясняется совпадениями между переходами  $34$  и  $41$  кэв. Подъем в области жестких энергий можно объяснить суммированием импульсов  $\beta$ -спектра с конверсионными электронами  $L-41$  в кристалле антрацена люминесцентного  $\beta$ -спектрометра.

#### ЛИНИЯ С ЭНЕРГИЕЙ ЭЛЕКТРОНОВ $30$ КЭВ ( $KLL$ -ОЖЕ-ЭЛЕКТРОНЫ)

Согласно расчетам [18, 19] отношение между группами  $KLY$  и  $KLL$ -оже-электронов должно быть порядка  $0,5$ . Результаты наших измерений интенсивностей оже-электронов в сравнении с данными других авторов и теоретическими значениями приведены в табл. 3.

Работы	Интенсивность <i>KLL</i> -оже	Интенсивность <i>KLY</i> -оже	Общая интенсивность	Ожидаемое теоретическое значение интенсивности
[1]	12	6	18	16
[7]	$11 \pm 4,5$	$4,5 \pm 2,9$	$15,5 \pm 5,5$	18
[10]	6	2,5	8,5	18
[11]	—	—	—	18
Наши результаты	13,3	6,6	20	18

*KLY*-оже-электроны по энергии совпадают с линией *L*—41.

### КОНВЕРСИОННАЯ ЛИНИЯ 34,5 КЭВ (*L*—41 + *KLL*-ОЖЕ)

За интенсивность линии *L*—41 принималась разница между интенсивностью пика с энергией электронов 34,5 кэв и 0,5 от интенсивности *KLL*-пика оже-электронов.

Как видно из табл. 3 (графы 4 и 5), рассчитанные для этой линии интенсивности относительно линии *K*—134 лучше всего соответствуют теоретически рассчитанным значениям для схемы распада Гейгера.

Кривая поглощения для  $\beta$ -спектра, связанного с линией *L*—41, полностью совпадает с кривыми поглощения для *K*—134 и *L*—34 линии, как видно из рис. 3.

Дифференциальные  $\beta$ — $e^-$ -,  $e^-$ — $e^-$ -совпадения для отношения  $I_{L-41+KLY}/I_{K-134}$  дали ясно выраженный пик в области энергий порядка 90 кэв (рис. 2, а). Этот пик — результат совпадений между группой *KLY*-оже-электронов с конверсионной линией *K*-134. После вычитания вклада оже-электронов получалась в границах статистических ошибок прямая (рис. 2, г).

### КОНВЕРСИОННАЯ ЛИНИЯ 38 КЭВ (*L*—80)

Поскольку линия *K*—80 питается в основном от собственного  $\beta$ -спектра, совпадения с конверсионными электронами сравнительно малой интенсивности из других переходов (34 кэв, 41 кэв, 53 кэв, 100 кэв) мало отражаются на отношениях типа (\*). Поэтому эти отношения для этой линии и не приводятся.

### КОНВЕРСИОННАЯ ЛИНИЯ 47 КЭВ (*L*—53)

Поскольку положение перехода 53 кэв можно считать надежно установленным [9, 10], для него мы не делали почти никаких дополнительных измерений.

### КОНВЕРСИОННАЯ ЛИНИЯ 53 КЭВ (*L*—59)

Пик с энергией электронов 53 кэв иногда идентифицировался как *L*-линия перехода 59 кэв, а иногда как *K*-линия перехода 95 кэв. В работе [11] спектр был снят с большим разрешением (0,1%) и были выделены пики  $L_I$ ,  $L_{II}$ ,  $L_{III}$ ,  $M_I$ ,  $M_{IV}$ , отвечающие переходу 59 кэв, что окончательно решает данный вопрос.

### КОНВЕРСИОННАЯ ЛИНИЯ 59 КЭВ (M—59+K—100)

Наши измерения подтверждают данные работы [11]. Вопрос о совпадении перехода 100 кэв с другими был рассмотрен ранее.

### КОНВЕРСИОННАЯ ЛИНИЯ 91 КЭВ (K—134)

Линия K—134 является самой интенсивной линией в спектре  $Ce^{144}$ . При измерении относительных интенсивностей ее интенсивность принималась за 100.

### КОНВЕРСИОННАЯ ЛИНИЯ 106 КЭВ (K—148+2)

Вопрос об этой линии по существу был уже рассмотрен. Мы полагаем, что можно считать доказанным существование пика 106 кэв и то, что он связан с мягким  $\beta$ -спектром  $\sim 170$  кэв. Это говорит в пользу того, что он принадлежит  $Ce^{144}$ . Мы идентифицировали этот пик как K-линию перехода с энергией  $148 \pm 2$  кэв. Его интенсивность по отношению к K—134 составляет  $\sim 0,2\%$ .

### Обсуждение схемы распада $Ce^{144}$

Результаты наших измерений лучше всего согласуются со схемами распада Фримана [10] и Гайгера [11]. Однако наши результаты показывают, что переход 34 кэв не находится в каскаде с переходом 134 кэв, как это приводится в схеме Фримана. Среди малоинтенсивных переходов нами был найден еще один с энергией  $140 \pm 2$  кэв. На основании полученных данных мы предлагаем схему распада  $Ce^{144}$  (рис. 6). Она отличается от схемы распада Гайгера наличием возбужденного уровня  $Pg^{144}$  с энергией 147 кэв, с которого идут переходы 147 кэв (на основном состоянии) и 67 кэв (на уровень 80 кэв). Наблюдаемый Фриманом переход 87 кэв, также укладывается в нашу схему (на рис. 6 показан пунктиром).

Интенсивность  $\beta$ -спектра, питающего уровень 141 кэв, будет  $< 1\%$ , его граничная энергия  $E_{\beta\max} \sim 170$  кэв. Отсюда следует, что частичный период полураспада для этого перехода должен быть  $\sim 10^2$  лет, значение  $lgft \sim 8,4$  [18]. В таком случае уровень с энергией  $148 \pm 2$  кэв должен иметь спин 2 и отрицательную четность.

В заключение авторы выражают благодарность М. Радоевич за помощь при измерениях и С. А. Сергееву за контроль работы радиоаппаратуры.

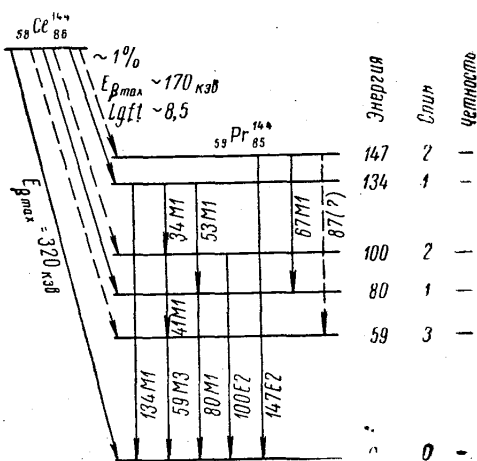


Рис. 6. Схема распада  $Ce^{144}$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Emmerich W. S., John G., Kurbatov J. Phys. Rev., **82**, 968, 1951.
2. Keller H. B., Cork J. M. Phys. Rev., **84**, 1079, 1951.
3. Lin Shing John G., Kurbatov J. D. Phys. Rev., **85**, 487, 1952.
4. Porter F. T., Cook C. S. Phys. Rev., **87**, 464, 1952.
5. Emmerich W. S., Auth W. G., Kurbatov J. D. Phys. Rev., **94**, 110, 1954.
6. Cork J. M., Brice M. K., Schmid L. C. Phys. Rev., **96**, 1295, 1954.
7. Pullman I., Axel P. Phys. Rev., **102**, 1366, 1956.
8. Парфенова В. А., Форафонов Н. В., Шпинель В. С. «Изв. АН СССР», сер. физическая, **21**, 1601, 1957.
9. Форафонов Н. В., Сорокин А. А. ЖЭТФ, **36**, 330, 1959.
10. Freeman N. J. Proc. Phys. Soc., **74**, 449, 1959.
11. Geiger I. S., Graham R. L., Ewan G. T. Nucl. Phys., **16**, 1, 1960.
12. Гнедич А. В., Крюкова Л. Н., Муравьева В. В. ЖЭТФ, **36**, 329, 1959.
13. Saugupta A. K. J. Phys. Indian, **32/42**, 388, 1959.
14. Делягин Н. Н., Сорокин А. А., Форафонов Н. В., Шпинель В. С. «Изв. АН СССР», сер. физическая, **20**, 913, 1956.
15. Лозгачев В. И. ЖТФ, **XXX**, 1109, 1960.
16. Мелиоранский А. С., Останевич Ю. М. ПТЭ, **1**, 73, 1959.
17. Huber O., Humbel F. Helv. Phys. Acta, **XXXIV**, 127, 1961.
18. Ванстра А. Х., Ниих Г. Ф., Ван Лишут Р. Таблицы по ядерной спектроскопии. Атомиздат, М., 1960.
19. Зигбан К. Бета- и гамма-спектроскопия. Физматгиз, М., 1959.

Поступила в редакцию  
8. 5 1961 г.

НИИЯФ