

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



15 / 1-79
P6 - 11848

B-926

Ц.Вылов, Ш.Оманов, Я.Саржински, В.В.Кузнецов,
О.И.Кочетов, Н.Б.Бадалов, Р.Р.Усманов,
Н.А.Лебедев, У.С.Салихбаев, Ю.В.Юшкевич

143 / 2-79

ИЗУЧЕНИЕ РАСПАДА $^{147}\text{Eu} \longrightarrow ^{147}\text{Sm}$

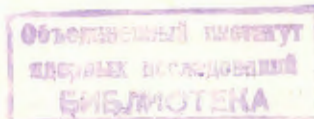
1978

P6 - 11848

Ц.Вылов, Ш.Оманов,¹ Я.Саржински, В.В.Кузнецов,
О.И.Кочетов,² Н.Б.Бадалов,¹ Р.Р.Усманов,¹
Н.А.Лебедев, У.С.Салихбаев,¹ Ю.В.Юшкевич

ИЗУЧЕНИЕ РАСПАДА $^{147}\text{Eu} \longrightarrow ^{147}\text{Sm}$

Направлено в "Acta Physica Polonica"



¹ Самаркандский государственный университет.
² Институт ядерной физики АН УзССР, Ташкент.

Вылов П. и др.

P6 - 11848

Изучение распада $^{147}\text{Eu} \rightarrow ^{147}\text{Sm}$

В распаде $^{147}\text{Eu} \rightarrow ^{147}\text{Sm}$ измерялись спектры γ -лучей и ЭВК, $e-\gamma$ -совпадения, $\gamma-\gamma$ -угловые корреляции и времена жизни возбужденных состояний ^{147}Sm . Обнаружены новые γ -переходы, установлены или уточнены мультипольности ряда γ -переходов, установлены спины некоторых возбужденных состояний ^{147}Sm и введены новые энергетические уровни.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Vylov Ts. et al.

P6 - 11848

Investigation of $^{147}\text{Eu} \rightarrow ^{147}\text{Sm}$ Decay

In the decay $^{147}\text{Eu} \rightarrow ^{147}\text{Sm}$ spectra of γ -rays and internal conversion electrons as well as $e-\gamma$ coincidences, $\gamma-\gamma$ angular correlations and lifetimes of excited states were investigated. New γ -ray transitions have been found, the multipolarities of several γ -ray transitions were established or precisely deduced, spin values of some ^{147}Sm excited states were determined and new energy levels have been proposed.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

ВВЕДЕНИЕ

Распаду $^{147}\text{Eu} \rightarrow ^{147}\text{Sm}$ / $T_{1/2} = 24,1$ дн./ посвящен ряд экспериментальных работ.

Спектры γ -лучей при распаде ^{147}Eu исследовались с помощью спектрометров с Ge(Li) -детекторами в работах /1-5/. Измерения спектров электронов внутренней конверсии /ЭВК/ проводились авторами работ /1,5-7/. Спектр позитронов при распаде ^{147}Eu изучался Адамом и др. /1/ и Громовым и др. /8/. Альфа-распад ^{147}Eu исследовался в работе /9/. В данном ядре измерялись $\gamma-\gamma$ /1, 2, 5/, $e-\gamma$ /1/, $\beta-\gamma$ /1, 8/ совпадения, $\gamma-\gamma$ -угловые корреляции /2, 6, 10, 11/, а также времена жизни низково возбужденных состояний ^{147}Sm /2, 12, 13/.

Свойства возбужденных уровней ^{147}Sm изучались в опытах по кулоновскому возбуждению /14, 15/, в ядерных реакциях типа (p, p') /16/, (d, d') /17/ и (d, t) /17/. Обсуждение результатов, полученных для ядра ^{147}Sm , приводится в работе /18/.

Несмотря на имеющийся довольно обширный экспериментальный материал, следует отметить, что схема распада ^{147}Eu изучена далеко не полно.

До сих пор не были устранены некоторые противоречия о заселенностях основного и нижних возбужденных состояний ^{147}Sm , в схеме распада не удавалось разместить многие γ -переходы, мультипольности ряда γ -переходов были установлены неточно, поэтому некоторым возбужденным уровням ^{147}Sm нельзя было однозначно приписать спин и четность. Интенсивности γ -лучей при распаде ^{147}Eu измерялись в работах /6, 10/.

Так как авторы этих работ не привели погрешностей результатов и не описали условий эксперимента, пользоваться их данными трудно.

С целью уточнения имеющихся данных и для выяснения вышеупомянутых противоречий нами измерялись спектры γ -лучей, ЭВК, e - γ -совпадений, γ - γ -угловые корреляции и времена жизни возбужденных состояний ^{147}Sm .

1. РАДИОАКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Изотоп ^{147}Eu получался в реакции глубокого расщепления тантала и эрбия протонами с энергией 660 МэВ на внутреннем пучке синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Продолжительность облучений составляла 6-15 ч. После облучения хроматографическим методом /19/ выделялась фракция европия, которая разделялась по массам на электромагнитном масс-сепараторе /20/. В ходе сепарирования ионы ^{147}Eu внедрялись в алюминиевую фольгу. При исследованиях γ - γ -угловых корреляций фольга с ^{147}Eu растворялась в HCl , т.е. источники применялись в виде водного раствора $^{147}\text{EuCl}_3$.

2. ИССЛЕДОВАНИЯ γ -ЛУЧЕЙ

Спектры γ -лучей при распаде ^{147}Eu измерялись с помощью спектрометров с Ge- и Ge(Li)-детекторами. Низкоэнергетическая часть γ -спектра / $E_{\gamma} \leq 200$ кэВ/ изучалась с помощью рентгеновских спектрометров с Ge-, Ge(Li)-детекторами объемами 0,7 и 0,8 см³, энергетическое разрешение которых на линии 122 кэВ ^{57}Co составляло 500 и 550 эВ соответственно. Жесткая область γ -спектра измерялась Ge(Li)-детекторами с чувствительными объемами 37, 38 и 50 см³ с энергетическим разрешением 2,1; 1,9; 2,1 кэВ на линии 1332 кэВ ^{60}Co соответственно.

Измерения спектров γ -лучей проводились по методике, описанной в работах /21-27/. Информация накапливалась в памяти анализатора TRIDAC-C и DIDAC, записывалась на магнитную ленту магнитофона RG-23 и передавалась на ЭВМ Минск-2. Обработка спектров проводилась с помощью ЭВМ Минск-2 и Минск-22 по программе "Каток" /28/, а калибровка осуществлялась по программам /23/.

Для определения энергий γ -лучей ^{147}Eu в качестве калибровочных источников использовались ^{241}Am , ^{139}Ce , ^{182}Ta , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{88}Y , ^{207}Bi и ^{144}Ce . Для определения эффективности регистрации излучений спектрометров применялись источники γ -лучей с известной активностью /ОСГИ/ и источники с хорошо известными относительными интенсивностями γ -лучей /27/.

Характерные аппаратные спектры, измеренные с помощью спектрометров с Ge(Li)-детекторами /0,8 и 38 см³/, приведены на рис. 1 и 2.

Полученные нами экспериментальные данные о γ -лучах, испускаемых в распаде $^{147}\text{Eu} \rightarrow ^{147}\text{Sm}$, приведены в табл. 1 в колонках 1 /энергии γ -квантов, E_{γ} / и 4 /относительные интенсивности, I_{γ} /. Наши данные являются средневзвешенными значениями результатов, полученных в 20 сериях измерений, проделанных с несколькими моноизотопными источниками ^{147}Eu , на разных спектрометрических трактах.

Итоги исследований γ -спектра ^{147}Eu следующие:

а. Относительные интенсивности k_{χ} -лучей определены с точностью $\leq 3\%$. По сравнению с нашими данными относительные интенсивности k_{χ} -лучей в работе /6/ завышены примерно на 100%.

б. Уточнены значения энергий и относительных интенсивностей ряда γ -переходов. В наших измерениях не наблюдались следующие γ -переходы: 885,7 кэВ /1/; 550,2 кэВ /3/; 160,8; 166,3; 553,3; 611,35; 738,2 и 1029,0 кэВ /4/. Эти переходы проявились, по-видимому, за счет примесей соседних изотопов Eu и Gd.

в. Обнаружено 25 малоинтенсивных γ -переходов в области энергий от 250 до 1650 кэВ.

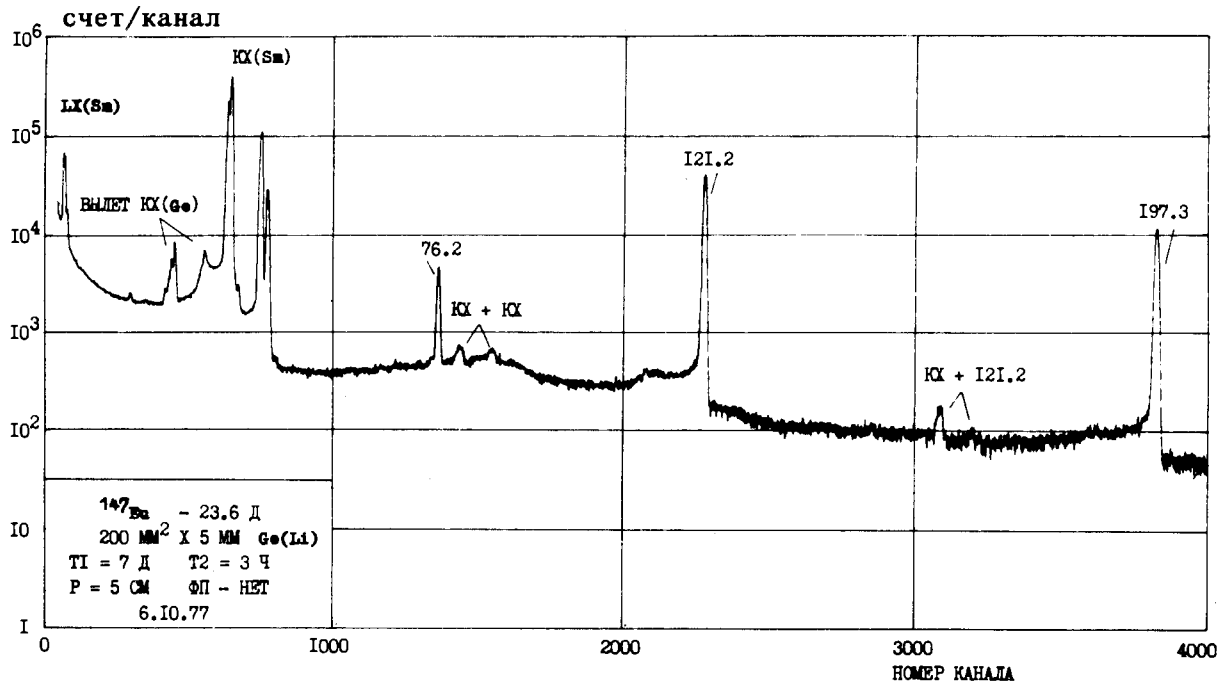


Рис. 1. Спектр гамма-лучей ¹⁴⁷Eu, измеренный на спектрометре с Ge(Li) - детектором объемом 0,8 см³.

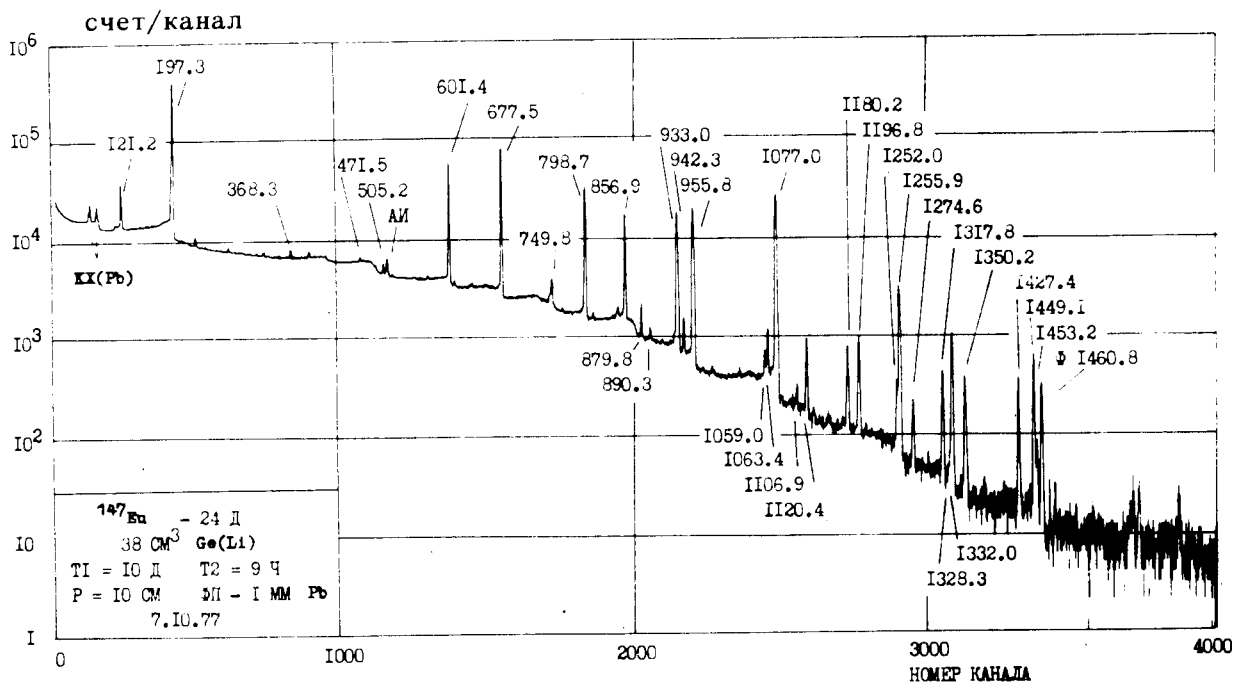


Рис. 2. Спектр гамма-лучей ¹⁴⁷Eu, измеренный на спектрометре с Ge(Li) - детектором объемом 38 см³.

Сравнение наших данных с данными работ /1,4,5/ приведено в табл. 1 /колонки 2,3,5,6/.

3. ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРОВ ЭЛЕКТРОНОВ ВНУТРЕННЕЙ КОНВЕРСИИ

Спектры ЭВК исследовались с помощью спектрометров с Si(Li) -детекторами /21/ а также с Si(Li) -детектором, помещенным в однородное магнитное поле /21/ напряженностью $H_1 = 250$ и $H_2 = 750$ Гс.

Характерные аппаратные спектры ЭВК ^{147}Eu , измеренные с помощью обоих спектрометров, приведены на рис. 3 и 4. Данные об относительных интенсивностях К-линий ЭВК собраны в табл. 1, где для сравнения приведены результаты, полученные в работах /1,7/. Наблюдается согласие наших данных с данными работ /1,4,5,7/. Однако в работе /1/ не приведены погрешности относительных интенсивностей ЭВК и введены γ -переходы с энергиями 828,9; 885,7; 963,9; 1158; 1542 кэВ, которые не обнаружены ни в настоящей работе, ни в работе /7/. Относительные интенсивности К601,43; К933,01; К1077,03 и К1196,83 кэВ /1/ сильно отличаются от данных Авотиной и др. /7/ и настоящей работы.

В наших экспериментах в области 250-1200 кэВ впервые определены относительные интенсивности К-электронов 10 γ -переходов.

Для ряда γ -переходов ^{147}Eu рассчитаны коэффициенты внутренней конверсии (a_k). При нормировке значений a_k использовался тот факт, что γ -переход 197,27 кэВ является чистым $E2$ /6,7/ и для него $a_k = 0,157$ /29/. Погрешности включают в себя погрешности относительных интенсивностей γ -лучей и ЭВК, а также погрешность нормировки.

Полученные нами значения коэффициентов a_k и определенные по этим значениям мультипольности γ -переходов в ^{147}Eu даны в табл. 1.

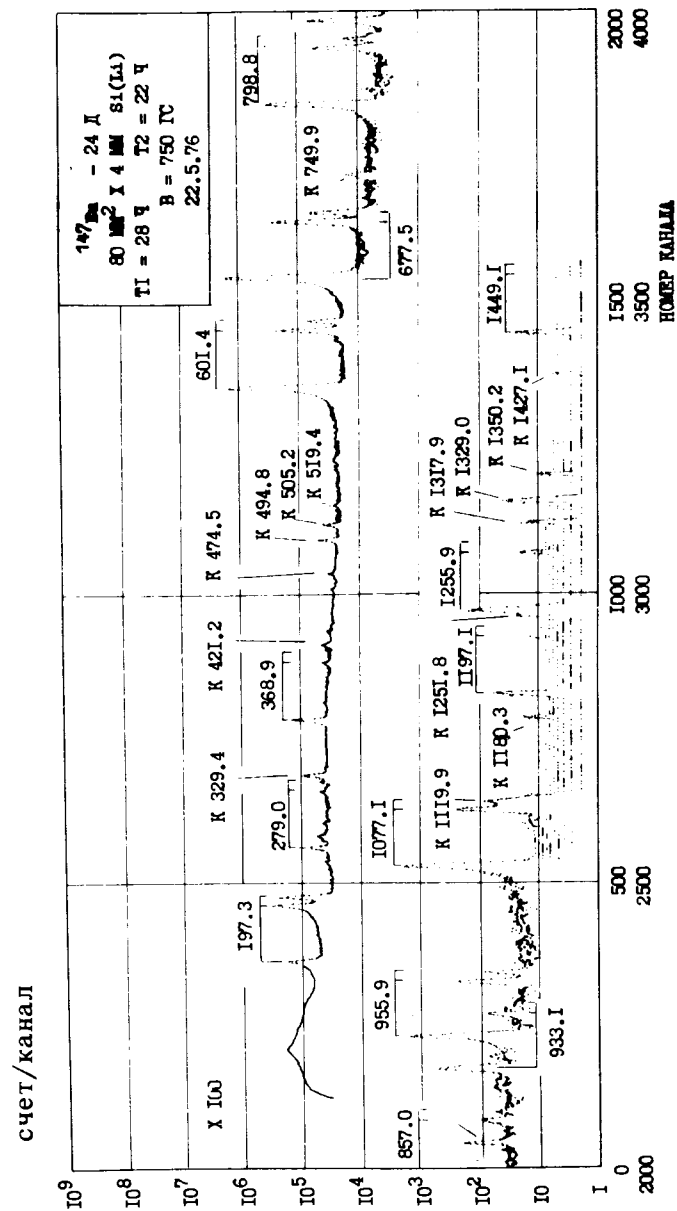


Рис. 3. Спектр электронов внутренней конверсии ^{147}Eu , измеренный на спектрометре с Si(Li) -детектором.

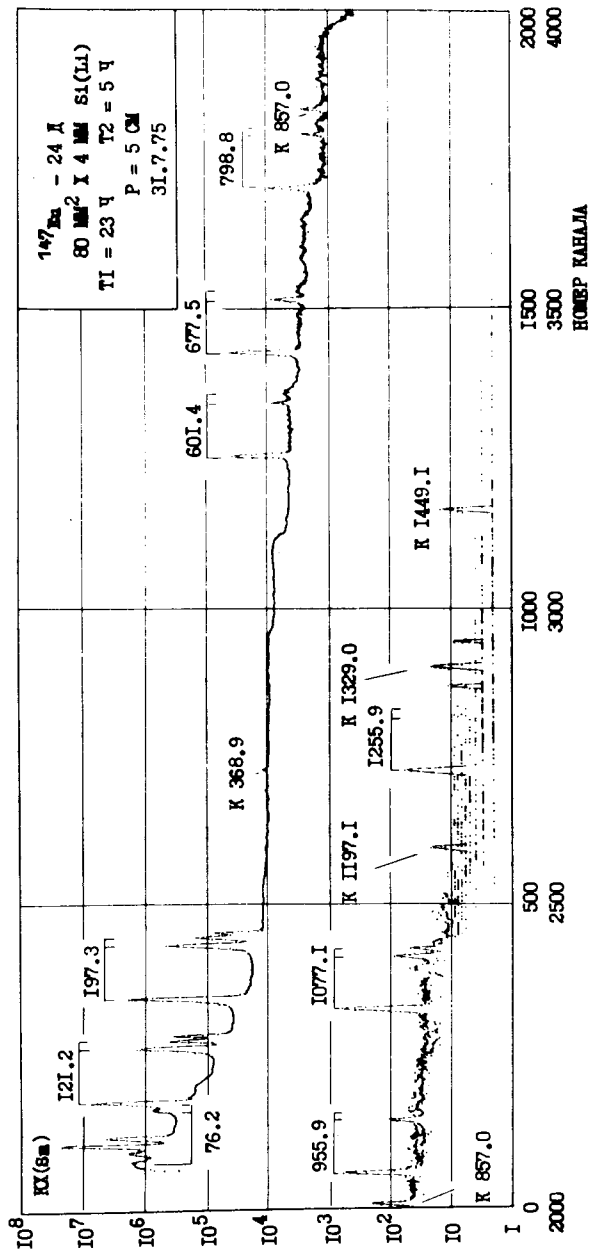


Рис. 4. Спектр электронов внутренней конверсии ^{147}Eu , измеренный на β -спектрометре с $\text{Si}(\text{Li})$ -детектором, помещенным в однородное магнитное поле /при $H_2 = 750 \text{ Гс}/$.

4. ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРОВ ($e\text{-}\gamma$)-СОВПАДЕНИЙ

Исследования проводились на установке^{/30/}, собранной на базе безжелезного β -спектрометра с тороидальным магнитным полем и $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора объемом 40 см^3 с энергетическим разрешением $3,5 \text{ кэВ}$ на линии 1332 кэВ ^{60}Co . Разрешающее время быстрой схемы совпадений было равным 50 нс . Число случайных совпадений составляло $\leq 3\%$ от числа истинных совпадений.

В экспериментах регистрировались спектры γ -лучей ^{147}Eu в совпадениях с L_1 121,2; M 121,2 и K 197,3-электронами. Спектры, полученные в одном из опытов, показаны на рис. 5.

Информация накапливалась в памяти 4096-канального анализатора ИСА-70, а обработка спектров γ -лучей и спектров совпадений проводилась на ЭВМ Минск-2 по программе "Каток"^{/28/}. Относительные интенсивности ($e\text{-}\gamma$)-совпадений, полученные в эксперименте и рассчитанные на основе предлагаемой нами схемы распада, представлены в табл. 2.

Из таблицы видно, что полученные нами экспериментальные данные в основном согласуются с результатами расчетов и с данными работы^{/1/}.

Следует подчеркнуть, что в спектре $e\text{-}\gamma$ -совпадений проявляется переход с энергией $675,69 \text{ кэВ}$. Наши результаты доказывают, что переход $675,69 \text{ кэВ}$ заселяет уровень 197, 278 кэВ . Если бы этот переход заселял другой уровень, например $798,72 \text{ кэВ}$, тогда относительная интенсивность пика $K197,3 - \gamma 675,69$ равнялась бы $0,11 \pm 0,01$, а это противоречит результатам эксперимента. В более ранних работах пик в этой области относили, по нашему мнению, к случайным совпадениям $K197,3 - \gamma 677,5 \text{ кэВ}$.

5. ИССЛЕДОВАНИЯ $\gamma\text{-}\gamma$ -УГЛОВЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ

Гамма-гамма угловые корреляции при распаде $^{147}\text{Eu} \rightarrow ^{147}\text{Sm}$ измерялись на автоматизированном спектро-

Рис. 5. Участок спектра (e-γ) - совпадений, измеренного при распаде ^{147}Eu .

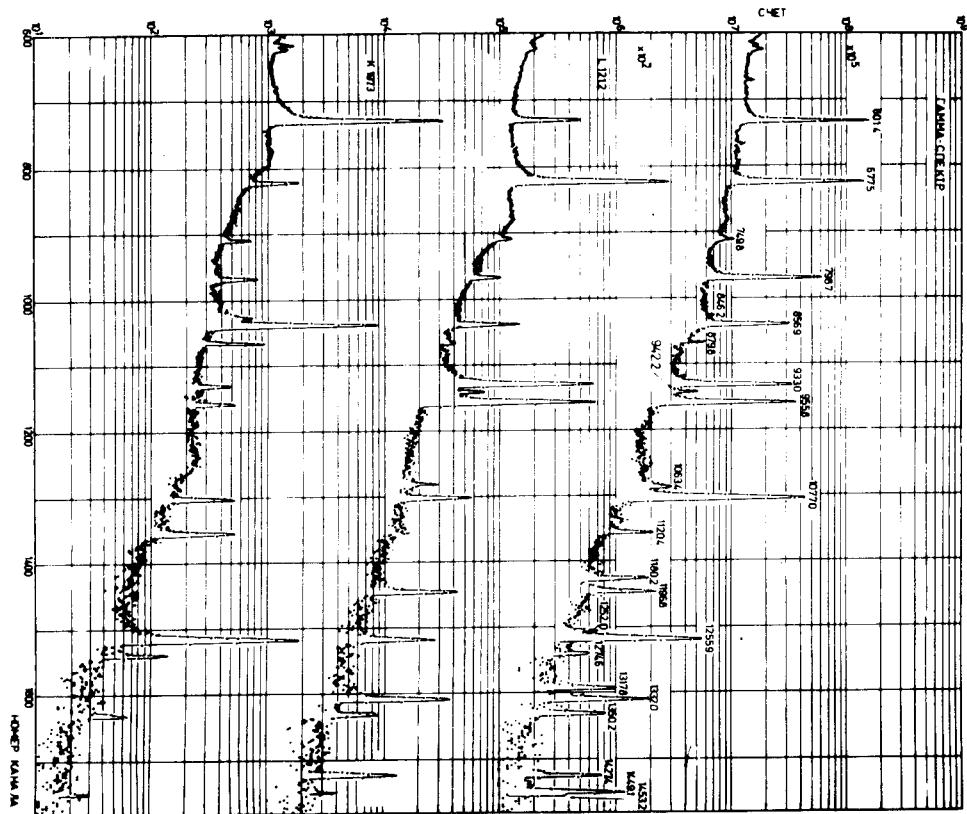


Таблица 2

Результаты исследования e-γ-совпадений при распаде

^{147}Eu .

относительные интенсивности e-γ-совпадений при распаде $^{147}\text{Eu} \rightarrow ^{147}\text{Sm}$

E _γ , кэВ	L _I -I2I		K-I97	
	e-γ экс.	e-γ расч.	e-γ экс.	e-γ расч.
1	2	3	4	5
601,43	93,4(34)	61,5(62)	1000(62)	1000(46)
675,69	6,3(7)	3,9(5)	36,6(64)	57,1(63)
677,51	1000(19)	1000(36)	-	-
846,22	1,0(2)	0,66(7)	10,1(30)	10,77(60)
856,94	42,3(19)	27,9(29)	453(28)	454(22)
879,75	3,5(2)	2,01(24)	38,0(42)	32,7(15)
933,01	355(17)	354(36)	-	-
942,19	12,7(27)	17,3(6)	-	-
955,82	390(20)	394(9)	-	-
1059,03	7,19(55)	7,39(17)	-	-
1120,38	2,7(10)	1,9(2)	29,0(30)	31,1(15)
1196,83	28,1(12)	28,3(29)	-	-
1251,86	1,69(25)	0,85(10)	12,53(32)	13,81(99)
1255,91	18,7(16)	9,24(95)	156(10)	150(7)
1274,58	0,93(15)	0,54(6)	9,2(21)	8,84(51)
1331,99	33,8(32)	33,16(62)	-	-
1350,21	12,8(39)	14,25(40)	-	-
1427,38	13,1(12)	11,59(26)	-	-

метре^{31/с} GE(Li) - детектором с чувствительным объемом 38 см³ и энергетическим разрешением 4,5 кэВ на линии 1332 кэВ ⁶⁰Co и с двумя NaJ(Tl) - детекторами /40x40 мм/. Для уменьшения эффектов рассеяния γ -квантов детекторы защищались конусообразными коллиматорами /10 мм Pb; 0,5 мм Cd и 0,5 мм Cu /. Временное разрешение спектрометра составляло 80 нс. Информация накапливалась в памяти 1024-канального анализатора NTA-512 В.

При обработке экспериментальных данных учитывались поправки на геометрию детекторов, случайные совпадения и совпадения с комптоновским распределением γ -лучей.

Геометрические поправки определялись согласно работам^{32/} и ^{33/} для NaJ(Tl) - и Ge(Li) - детекторов соответственно.

Случайные совпадения γ -квантов оценивались по интенсивностям пиков 798,7 и 1077,0 кэВ, проявляющихся в спектрах совпадений. В наших экспериментах число случайных совпадений не превышало 1% от числа истинных совпадений.

Измерения γ - γ -угловых корреляций проводились с γ -переходами 121,2 и 197,3 кэВ, которые выделялись дифференциальными дискриминаторами в NaJ(Tl) - трактах. Для определения эффектов, связанных с рассеянием, измерялись также совпадения γ -квантов с фоном в области энергий ~ (140-170) кэВ и ~ (230-270) кэВ.

Результаты наших измерений γ - γ -угловых корреляций в ¹⁴⁷Eu \rightarrow ¹⁴⁷Sm даны в табл. 3. Там же приводим данные работ^{10, 11/}.

Для сравнения экспериментальных данных с теорией использовались таблицы, опубликованные в работе^{34/}. Теоретические значения коэффициентов A₂₂ и A₄₄ рассчитаны для некоторых γ -каскадов /табл. 3/ при следующих условиях:

а. Переходы 197,3; 601,4; 856,9; 933,0 и 955,8 кэВ являются чистыми E2-, M1-, E1-, E1- и M1-переходами соответственно.

б. Мультипольность перехода 121,2 кэВ является M1 + (11±2)% E2^{7/7} /т.е. Q = 0,11(2), $\delta^2 = 0,124(23)$,

Таблица 3

Результаты исследований γ - γ -угловых корреляций при распаде ¹⁴⁷Eu.

№	Энергия уровней (кэВ)	γ -каскад (кэВ)	Последовательность спинов	A ₂₂			A ₄₄						
				Наст. ред.	[10]	[11]	теор. ⁸	Наст. ред.	[10]	[11]			
1	197-121-0	76 - 121	3/2(M1+2)5/2(M1+2)7/2	-	-	-0,291(62)	0	7	8	9	10	11	12
2	798-197-121-0	601-(76)-121	3/2(M1)3/2(M1+2)5/2(M1+2)7/2	0,054(19)	-	-	0,057(9)	-	-	-	-	-	-
3	798-121-0	676 - 121	3/2(M1+2)5/2(M1+2)7/2	0,106(6)	0,147(25)	0,128(11)	-	0,003(16)	-0,006(42)	0,002(17)	-	-	-
4	1054-197-121-0	857-(76)-121	3/2(3)3/2(M1+2)5/2(M1+2)7/2	0,020(20)	-	-	0,057(9)	-	-	-	-	-	-
5	1054-121-0	933 - 121	3/2(3)3/2(M1+2)5/2(M1+2)7/2	-0,095(14)	-	-	-0,105(16)	-	-	-	-	-	-
6	1077-121-0	956 - 121	5/2(M1)5/2(M1+2)7/2	0,149(14)	-0,025(42)	0,020(15)	0,120(18)	0,003(35)	0,056(66)	0,014(22)	-	-	-
7	1316-121-0	1197 - 121	-(M1+2)5/2(M1+2)7/2	0,00(3)	-	-	-	0,00(10)	-	-	-	-	-
8	1453-197-121-0	1256-(76)-121	-(M1+2)3/2(M1+2)5/2(M1+2)7/2	-0,01(2)	-	-	-	-0,06(6)	-	-	-	-	-
9	1453-121-0	1332 - 121	-(M1+2)5/2(M1+2)7/2	0,12(2)	-	-	-	0,04(6)	-	-	-	-	-
10	1471-121-0	1356 - 121	-(M1+2)5/2(M1+2)7/2	-0,13(6)	-	-	-	0,00(15)	-	-	-	-	-
11	1548-121-0	1428 - 121	-(M1+2)5/2(M1+2)7/2	-0,03(4)	-	-	-	0,00(12)	-	-	-	-	-
12	798-197-0	601 - 197	3/2(M1)3/2(2)7/2	0,056(6)	0,068(43)	0,064(19)	0,057	0,001(11)	-	-	-	-	-
13	1054-197-0	857 - 197	3/2(3)3/2(2)7/2	0,058(12)	0,054(31)	0,054(31)	0,057	-0,004(15)	-	-	-	-	-
14	1317, 68-197-0	1120 - 197	(M1+2)3/2(2)7/2	0,12(4)	-	-	-	-0,04(7)	-	-	-	-	-
15	1453-197-0	1256 - 197	(M1+2)3/2(2)7/2	-0,08(2)	-	-0,014(31)	-	-0,01(2)	-	-	-	-	-

⁸ Расчеты при условиях $\delta^2(121) = -0,352(16)$, $\delta^2(76) = 0,423(45)$ /7/

$\delta/ = 0,352(16)$). Парциальный коэффициент корреляции для γ -перехода 121,2 кэВ тогда равен:

$$A_2(121) = -0,280(42) \quad \delta(121) < 0,$$

$$A_2(121) = +0,590(44) \quad \delta(121) > 0,$$

$$A_4(121) = +0,013(2) \quad \delta(121) \lesssim 0.$$

в. Переход 76,1 кэВ - смешанный $M1 + (30 \pm 3)\% E2$ /7/ ($Q = 0,30(3)$, $\delta^2 = 0,429(45)$). Это ненаблюдаемый переход в тройных корреляциях 2,4,8 - табл. 3. Коэффициенты корреляции v_k для перехода 76,1 кэВ при этом равны /34/:

$$v_2(76) = 0,513(22), \quad v_4(76) = 0.$$

На основе полученных результатов делаем следующие заключения.

1. Экспериментальные значения коэффициентов A_{22} и A_{44} для каскадов 601-197 и 857-197 кэВ хорошо согласуются с теоретическими оценками. Этот вывод следует из табл. 3 и рис. 6.

2. В случае каскадов 677,5-121,2; 933-121,2 и 955,8-121,2 кэВ анализ полученных значений A_{22} проведен методом параметрических графиков Арнса-Виденбека /35/ - рис. 7. Удовлетворительное согласие результатов измерений γ - γ -корреляций с данными по ЭВК получается при $\delta(121) < 0$ - рис. 7. Для верхних переходов в этих каскадах получается:

$$677,5 \text{ кэВ: } D + (15 \pm 4)\% Q \quad 3/2 \rightarrow 5/2,$$

$$933,0 \text{ кэВ: } D + (< 1\% Q) \quad 3/2 \rightarrow 5/2,$$

$$955,8 \text{ кэВ: } D + (< 3\% Q) \quad 5/2 \rightarrow 5/2,$$

где D и Q обозначают дипольный и квадрупольный компоненты γ -излучения соответственно. При $\delta(121) > 0$ наблюдается расхождение между коэффициентами смеси мультипольностей, вытекающим для рассматриваемых переходов из измерений γ - γ -корреляций и ЭВК. Окончательно можно принять следующие мультипольности указанных переходов:

$$\begin{array}{lll} 121,2 \text{ кэВ} & M1 + (11 \pm 2)\% E2 & \delta < 0, \\ 677,5 \text{ кэВ} & M1 + (15 \pm 3)\% E2 & \delta < 0, \\ 933,0 \text{ кэВ} & E1 (+ \leq 1\% M2), & \\ 955,8 \text{ кэВ} & M1 + \leq 3\% E2 & \delta < 0. \end{array}$$

Эти выводы согласуются с данными работы /11/.

3. Каскады 601-76/-121 и 857-76/-121 кэВ /табл. 3/ удовлетворительно согласуются с принятыми ранее значениями коэффициентов смеси мультипольностей для переходов 121,2 и 76,1 кэВ.

4. На основе измерений КВК /табл. 1/ нижеуказанным переходам следует приписать мультипольности:

$$\begin{array}{ll} 1120,4 \text{ кэВ} & M1 + \leq 68\% E2, \\ 1196,8 \text{ кэВ} & M1 + (92_{-18}^{+8})\% E2, \\ 1255,9 \text{ и } 1332,0 \text{ кэВ} & M1 \text{ возможно тоже } E2, M1+E2), \\ 1350,2; 1427,4 \text{ кэВ} & M1, E2, M1+E2 (M2?), \end{array}$$

что согласуется с выводами работ /1,5-7/.

Анализируя полученные для этих переходов коэффициенты A_{22} угловых корреляций, мы пришли к следующим заключениям:

4а. Спин уровня 1317,67 кэВ может быть 1/2, 3/2, но не 5/2 - см. рис. 6.

4б. Для каскада 1197-121 кэВ получилось $A_{22} \approx A_{44} \approx 0$. Отсюда следует, что парциальный коэффициент корреляции $A_2(1197) \approx 0$. Ввиду этого спин уровня 1318,06 кэВ, исходного для перехода 1196,8 кэВ, равен 3/2, 5/2, 7/2; мультипольность перехода 1196,8 кэВ: $E2 + \leq 10\% M1$.

4в. Переходы 1332,0 и 1255,9 кэВ разряжают уровень 1453,21 кэВ /табл. 3/. Коэффициенты A_{22} , полученные нами для каскадов 1332-121 и 1256-197 кэВ, очень хорошо согласуются с приписанием уровню 1453,21 кэВ спина 1/2, если принять, что переход 1255,9 - типа $M1$, 1332,0 - типа $E2$ /см. рис. 6 и 8/. Но так как оба перехода типа $M1$ с небольшой примесью $E2$ -компонента, следует принять, что спин уровня 1453,21 кэВ равен 3/2, 5/2.

4г. Переход 1255,9 кэВ исследовался дважды: в двойном каскаде 1256-197 кэВ /см. выше, 4в/ и тройном каскаде 1256-76/-121 кэВ. Парциальный коэффициент корреляции для перехода 1255,9 кэВ, вычисленный из A_{22} для двойного каскада ($A_2(1256) = 0,56 \pm 0,14/$,

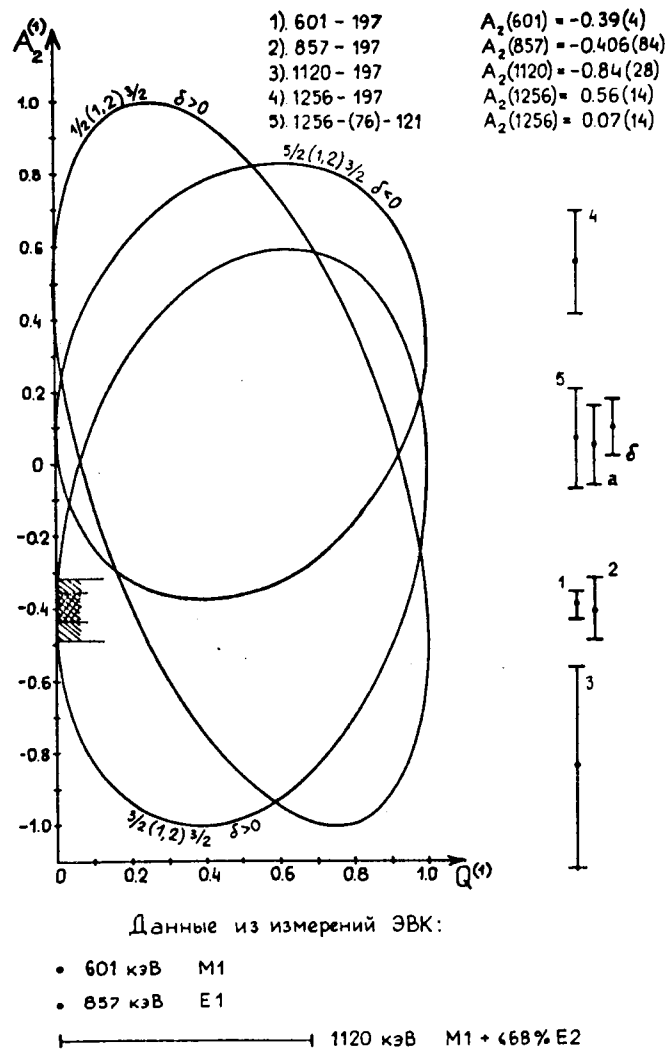


Рис. 6. Сравнение полученных в эксперименте парциальных коэффициентов A_2 угловых корреляций с предсказаниями теории. Данные /а/ и /б/ для $A_2(1256)$ взяты из работ /11,36/ соответственно.

намного больше, чем в случае тройного каскада ($A_2 = 0,07 \pm 0,14$). Значение $A_2(1256) = 0,07(14)$ хорошо согласуется с данными работ /11,36/ - рис. 6. Упомянутое здесь расхождение результатов для перехода 1255,9 кэВ можно, по-видимому, объяснить недостаточным набором статистики измерений.

4д. На основе результатов измерений корреляций для каскадов 1350-121 и 1427-121 кэВ однозначного

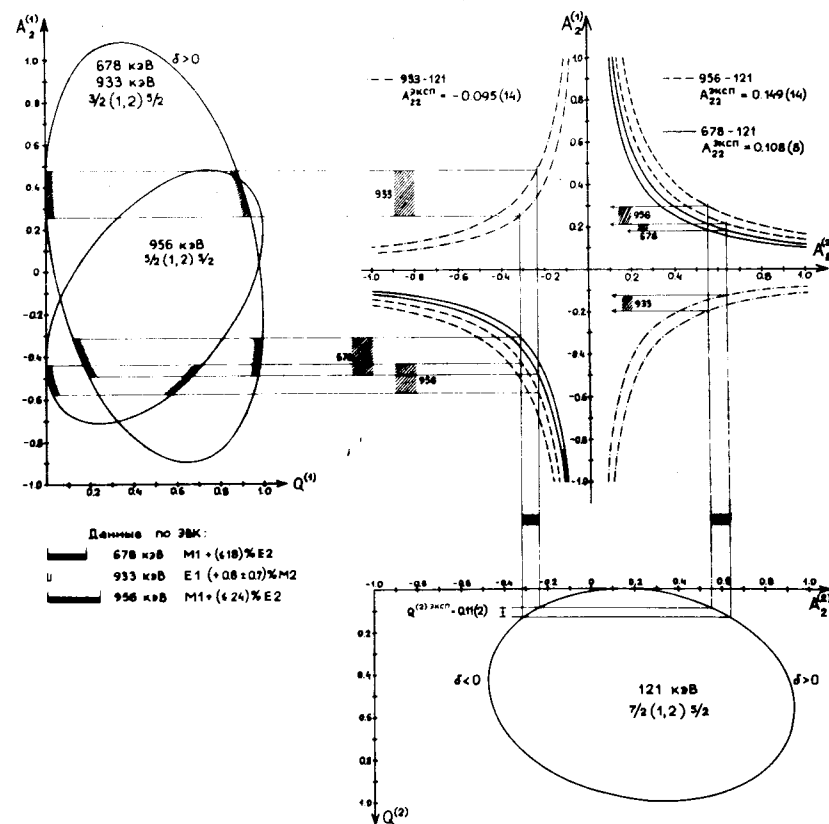


Рис. 7. Графики Арнса-Виденбена для $\gamma\gamma$ -угловых корреляций перехода 121,23 кэВ с переходами 677,51; 933,01; 955,82 кэВ в ^{147}Sm .

вывода сделать нельзя /см. рис. 8/, вследствие чего спины исходных уровней в этих каскадах могут быть равными $3/2, 5/2, 7/2$, а переходы $1350,2$ и $1427,4$ кэВ - типа $M1, E2, M1+E2$.

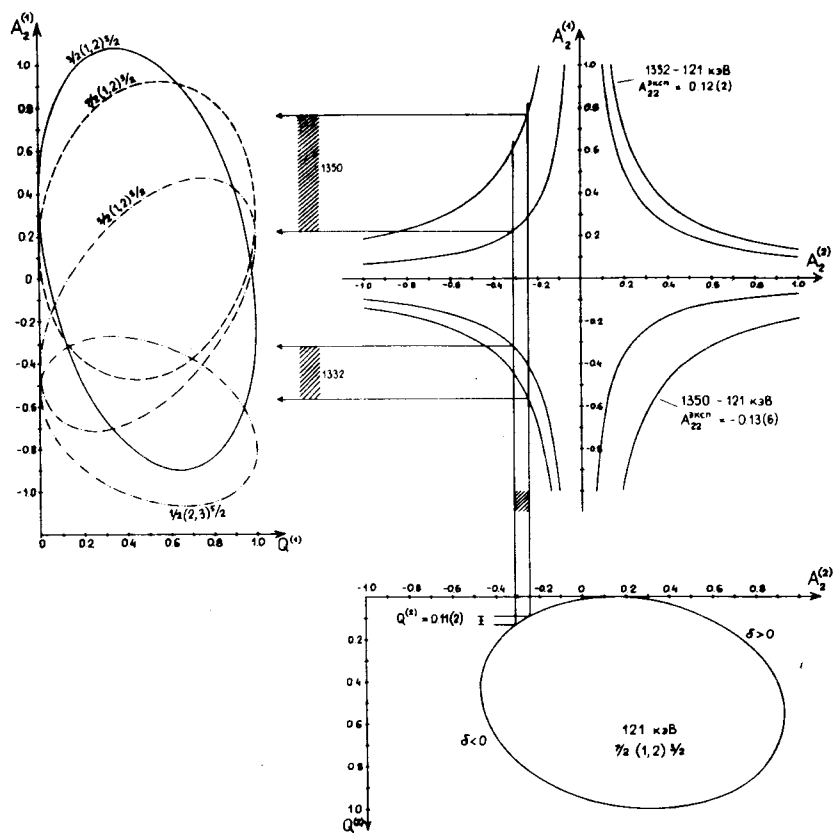


Рис. 8. Графики Арнса-Виденбека для γ - γ -угловых корреляций перехода $121,23$ кэВ с переходами $1350,21$ и $1331,99$ кэВ в ^{147}Sm .

6. ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕН ЖИЗНИ

Времена жизни низковозбужденных состояний ^{147}Sm измерялись методом e - γ -задержанных совпадений на ус-

тановке, собранной на базе магнитно-линзового β -спектрометра и сцинтилляционного γ -спектрометра^{/37/}. В обоих трактах применялись фотоумножители XP 1020 и сцинтилляторы NE 104.

На рис. 9 приведены временные распределения совпадений γ -лучей с конверсионными электронами $K 121,2$ и $K 197,3$. На вставке рис. 9 показан участок спектра ЭВК ^{147}Eu .

Полученные значения периодов полураспада для уровней $121,2$ кэВ / $T_{1/2} = 0,83 \pm 0,03$ нс / и $197,3$ кэВ / $T_{1/2} = 1,30 \pm 0,05$ нс / хорошо согласуются с данными ра-бот^{/2,12,13/}.

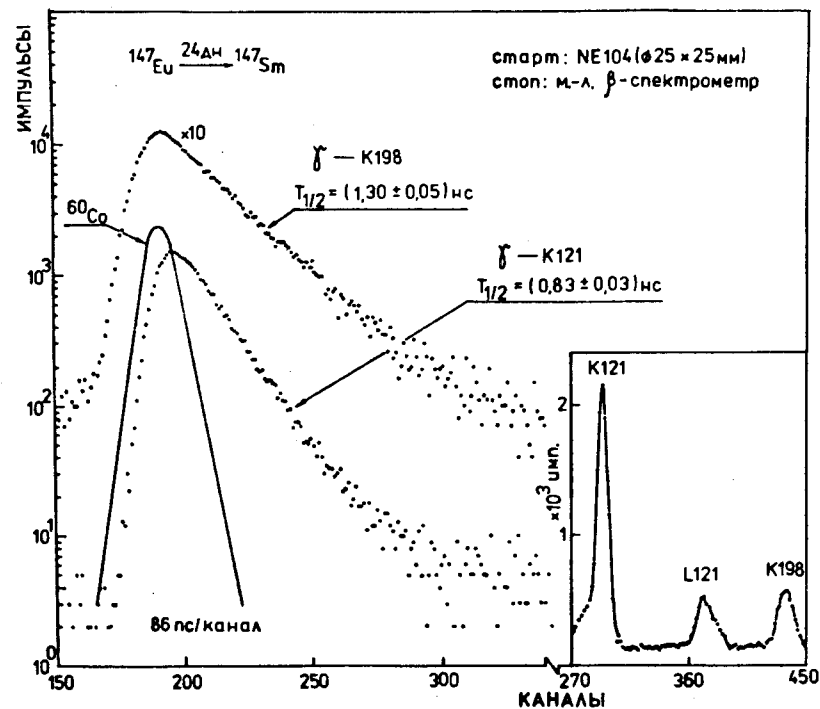


Рис. 9. Временные распределения совпадений $K197$ - γ и $K121$ - e в ^{147}Sm .

Согласно данным работы^{/5/} переходам с энергиями 1196,8; 1255,9; 1274,6; 1317,8; 1332,0; 1350,2; 1427,4 и 1449,1 кэВ приписывается мультипольность $M2$ или $E1 + M2$. По нашим данным некоторым из этих переходов тоже можно приписать мультипольность $M2$, вместо $M1$, $E2$ или $M1 + E2$. Эта неопределенность связана с относительно малой интенсивностью рассматриваемых переходов.

Согласно одночастичной оценке парциальный период полураспада для перехода типа $M2$ с энергией ~1200 кэВ равен $T_{1/2} \approx 3,5$ с. Отсюда следует, что некоторые уровни ^{147}Sm с энергией 1300 кэВ должны быть изомерными.

Для поиска таких изомерных состояний нами измерялись γ - x -задержанные совпадения. Детекторами служили NaJ(Tl) -сцинтилляторы /40x40 мм/ в сочетании с фотоумножителями ФЭУ-93. В стартовом канале временного спектрометра выделялись γ -переходы с энергией $E_\gamma \geq 960$ кэВ, в стоповом канале k_x -лучи ^{147}Sm . В результате этих измерений мы убедились, что в ядре ^{147}Sm не существует состояний с энергией возбуждения ≥ 1000 кэВ и временем жизни $T_{1/2} \geq 20$ нс. На основе этого делаем заключение, что вопреки результатам работы^{/5/} γ -переходы с энергиями 1317,82; 1449,08; 1255,91; 1331,99 кэВ не являются $M2$ -переходами.

7. СХЕМА РАСПАДА $^{147}\text{Eu} \rightarrow ^{147}\text{Sm}$

При расчетах баланса интенсивностей γ -переходов и долей электронного захвата, заселяющего энергетические уровни ^{147}Sm , использовались полные интенсивности характеристического рентгеновского излучения. Принималось, что выход флуоресценции на k -оболочке атома самария равен $\omega_k = 0,92^{/38/}$. Соотношение вероятностей электронного захвата на различных оболочках атома взяты из работы^{/39/}.

На основе баланса энергий и интенсивностей γ -переходов, e - γ -совпадений, а также на основе данных о γ - γ - и β^+ - γ -совпадениях^{/1,5,8/} построена схема распада ^{147}Eu .

В этой схеме /табл. 4/ размещено 49 из 68 наблюдаемых нами γ -переходов в ^{147}Eu . Суммарная интенсивность неразмещенных γ -переходов составляет $< 1\%$ на распад. Предлагаемая схема содержит 25 возбужденных уровней; она удовлетворительно согласуется со схемами, опубликованными в работах^{/1,5/}.

На основе анализа спектров e - γ -совпадений и баланса энергий и интенсивностей γ -лучей вводим новые возбужденные состояния с энергиями: 872,97; 1317,67; 1317,82; 1471,87 и 1629,88 кэВ. Краткие характеристики предлагаемых уровней следующие:

1. Уровень 872,97 кэВ вводится на основе обнаружения γ -перехода с энергией 675,69 кэВ в γ -спектре ^{147}Eu и спектре e - γ -совпадений с K 197,3 электронами /табл. 1 и 2, рис. 5/. Спин предлагаемого уровня нельзя установить ввиду отсутствия данных о мультипольности γ -перехода 675,69 кэВ.

2. Вместо ранее известного одного уровня 1319 кэВ^{/1/} или 1318 кэВ^{/5/} вводим 3 уровня с энергиями 1317,67; 1317,82 и 1318,06 кэВ на основе баланса энергий γ -лучей.

2а. Уровень 1317,67 кэВ разряжается двумя γ -переходами 1120,38 и 518,91 кэВ. Имея в виду мультипольности этих переходов ($M1$), результаты γ - γ -угловых корреляций, значение $\log ft$ для данного уровня и отсутствие γ -перехода в основное состояние ^{147}Sm , приписываем этому уровню спин и четность $3/2^-$ /установленные значения $\log ft$, по нашему мнению, исключают значения спинов $1/2$, $9/2$ и больше для всех уровней ^{147}Sm /.

2б. Уровень 1317,82 кэВ разряжается прямым γ -переходом на основное состояние ^{147}Sm . По нашим данным измерений спектров ЭВК этот переход типа $M2$, что, однако, не подтверждается измерениями времен жизни. Поэтому мультипольность перехода 1317,82 кэВ, возможно, типа $M1$, $E2$. Ввиду вышесказанного однозначно определить спин и четность уровня 1317,82 кэВ нельзя.

2в. Уровень 1318,06 кэВ разряжается γ -переходом с энергией 1196,83 кэВ на первый возбужденный уровень. Учитывая мультипольность этого перехода ($E2$), данные измерений угловых корреляций, значение $\log ft$ для электронного захвата на уровень 1318,06 кэВ и отсут-

Таблица 4

Состояния, возбуждаемые при распаде ^{147}Eu , и их разрядка

E_{γ} (ΔE_{γ}) кэВ	I^{π}	ϵ ($\Delta \epsilon$) % на распаде	Coeff	Разрядка							
				E_{γ}	I^{π}	Мультип.	E_{γ}				
1	2	3	4	5	6	7	8				
0	$7/2^{-}$	15,1(36)	8,48	-	-	-	-				
121,218(9)	$5/2^{-}$	20,9(20)	8,27	121,225	1799	M1+E2	0				
197,278(15)	$3/2^{-}$	21,9(14)	8,21	197,272	1225	E2	0				
798,72(2)	$3/2^{-}$	21,4(7)	7,79	76,066	135	M1+E2	121,218				
				798,700	214	E2	0				
				677,509	425	M1+E2	121,218				
				601,428	262	M1	197,278				
872,97(9)	$5/2^{-}$	0,31(4)	9,3	675,69	14,8	-	197,278				
				1006,67(2)	0,45(3)	9,4	1006,85	0,07	(M1, E2)	0	
1043,50(3)	$3/2^{-}$	0,066(3)	10,0	809,383	1,75	M1	197,278				
				1054,24(2)	3/2 ⁺	6,3(2)	8,0	846,224	2,80	M1	197,278
1063,40(2)	$5/2^{+}$	0,34(1)	9,3	1054,12	0,26	(M2, E3)	0				
				933,013	149	E1	121,218				
				856,936	118	E1	197,278				
				1063,37	6,92	E1	0				
1077,04(2)	$5/2^{-}$	10,5(2)	7,8	942,185	7,29	(E1)	121,218				
				1077,025	269	M1	0				
				955,822	167	M1	121,218				
				879,748	8,5	M1	197,278				
1180,23(4)	$3/2^{-}$	0,176(6)	9,4	278,317	3,2	M1	798,72				
				1180,21	7,5	E2	0				
				1059,03	3,11	-	121,218				
				982,98	0,32	-	197,278				
1228,08(3)	$3/2^{+}$, $5/2^{+}$	0,031(2)	10,1	1106,86	1,32	-	121,218				
1303,73(2)	$3/2^{-}$	0,089(2)	9,5	505,007	3,8	E1	798,72				
1317,67(2)	$3/2^{-}$	0,21(1)	9,1	1120,381	8,07	M1(+E2)	197,278				
1317,82(3)	$(3/2-7/2)^{+}$	0,140(4)	9,3	518,911	0,74	M1	798,72				
				1317,816	6,09	M2	0				
				1318,06(4)	$3/2^{-}$, $5/2^{-}$	0,28(1)	9,0	1196,827	11,9	E2	121,218
				1449,11(3)	$(3/2-7/2)$	0,31(2)	8,6	1449,077	9,29	M2	0
1453,21(2)	$3/2^{+}$, $5/2^{+}$	1,25(5)	8,0	1327,848	0,73	-	121,218				
				1251,857	3,6	-	197,278				
				1453,221	1,04	-	0				
				1331,986	14,03	M1(+E2)	121,218				
1471,44(3)	$3/2^{-}$, $5/2^{-}$	0,138(5)	8,9	1255,098	39,0	M1(+E2)	197,278				
				654,45	0,36	-	798,72				
				1471,90(6)	$3/2^{-}$, $5/2^{-}$	0,55(2)	9,3	1350,206	6,2	M1, E2	121,218
				1274,575	2,30	M1	197,278				
1548,53(2)	$3/2^{-}$, $5/2^{-}$	0,54(2)	7,9	1427,379	4,89	M1, E2	121,218				
				749,83	11,8	E2	798,72				
				494,301	1,59	M1	1054,24				
				471,475	2,58	(E1)	1077,04				
1588,19(16)	0,0010(2)	10,5	368,28	3,50	M1	1180,23					
1601,00(4)	0,010(1)	9,4	1600,99	0,045	-	-	0				
				1479,75	0,16	-	121,218				
1629,98(19)	0,002(1)	10,0	1629,87	0,019	-	-	0				
				1508,78	0,05	-	121,218				
1658,39(13)	0,0012(4)	9,8	1658,38	0,07	-	-	0				

стве γ -перехода в основное состояние, заключаем, что спин и четность рассматриваемого уровня $3/2^{-}$, $5/2^{-}$.

3. Вместо уровня 1472 кэВ, введенного в работе /1/, предлагаем ввести 2 уровня с энергиями 1471,44 и 1471,87 кэВ.

3а. Уровень 1471,44 кэВ разряжается γ -переходом 1350,21 кэВ (M1, E2) на уровень 121,218 кэВ. Уровню 1471,44 кэВ следует приписать спин и четность $3/2^{-}$, $5/2^{-}$.

3б. Уровень 1471,87 кэВ разряжается переходами 1471,96 и 1274,58 кэВ на основное и второе возбужденное состояния соответственно. На основе мультипольности перехода 1274,58 кэВ (M1) для рассматриваемого уровня предлагаем спин $3/2^{-}$, $5/2^{-}$.

4. Уровень 1629,98 кэВ разряжают γ -переходы 1629,87 и 1508,78 кэВ в основное и первое возбужденное состояния ^{147}Sm . О спине этого уровня нельзя сделать определенного заключения, так как мультипольности разряжающих его γ -переходов не установлены.

Как известно, ядро ^{147}Sm принадлежит переходной области, поэтому свойства возбужденных уровней этого ядра трудно объяснить в рамках существующих моделей.

В заключение авторы выражают благодарность проф. К.Я.Грому за поддержку и постоянный интерес к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adam I., Toth K.S., Meyer R.A. *Phys.Rev.*, 1967, 159, p.985.
2. Bozek E. e.a. *Nucl.Phys.*, 1968, A122, p.184.
3. Агеев В.А. и др. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 1973, 37, с.1695.
4. Heath R.L. *Gamma-Ray Spectrum Catalogue, ANCR-100-2*, 1974.
5. Адам И. и др. *Болгар. физ. журн.*, 1976, 111, с.1.
6. Schwerdtfeger C.F., Prask H.J., Mihelich J.W. *Nucl. Phys.*, 1962, 35, p.168.
7. Авотина М.П. и др. *Изв. АН СССР, сер. физ.*, 1966, 30, с.1292.

8. Громов К.Я. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1965, 29, с.2239.
9. Головкин Н.А. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1967, 30, с. 1618.
10. McNulty J.F., Funk E.G., Mihelich J.W. Nucl.Phys., 1964, 55, p.657.
11. Goworek T., Wawryszczuk J. Acta Phys.Pol., 1966, 29, p.655.
12. Bell R.A., Funk E.G., Mihelich J.W. Nucl.Phys., 1971, A175, p.129.
13. Kownacki J. e.a. Acta Phys. Pol., 1970, B1, p.173.
14. Albergotti J.C., Shearin P.E. Phys.Rev., 1963, 131, p.1224.
15. Алхазов Д.Г., Ерохина К.И., Лемберг И.Х. Изв. АН СССР, сер. физ., 1963, 27, с.1363.
16. Kenefick R.A. and Sheline R.K. Phys.Rev., 1965, 139, B1479.
17. Veje E. Nucl.Phys., 1967, A103, p.188.
18. Авошина М.П., Золотавин А.В. Свойства атомных ядер, вып. 2. "Наука", Л., 1971.
19. Молнар Ф., Халкин В., Херрман Э. ЭЧАЯ, 1973, 3, с.1077.
20. Аафнасьев В.П. и др. ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.
21. Вылов Ц. и др. Прикладная ядерная спектроскопия. Атомиздат, М., 1976, вып. 6, с.3.
22. Вылов Ц. и др. Там же, с. 26.
23. Вылов Ц. и др. Там же, с. 59.
24. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, Р6-10414, Дубна, 1977.
25. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, Р6-10415, Дубна, 1977.
26. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, Р6-10416, Дубна, 1977.
27. Вылов Ц. и др. ОИЯИ, Р6-11085, Дубна, 1977.
28. Гаджоков В. ПТЭ, 1970, 5, с.82.
29. Hager R.S., Seltzer E.C. Nucl.Data Tables, 1968, A4, p.1.
30. Кузнецов В.В. и др. В кн.: Тезисы докл. XXVIII сов. по ядерн. спектр. и структ. атомн. ядра. Алма-Ата. "Наука", Л., 1978.
31. Аликов Б.А. и др. Прикладная ядерная спектроскопия. Атомиздат, М., 1977, вып. 7, с.86.
32. Фергюсон А. Методы угловых корреляций в гамма-спектроскопии. Атомиздат, М., 1969.
33. Camp D.C., Van Lehn A.A. Nucl. Instr. and Meth., 1969, 76, p. 192.
34. Curen H.H., Kardon B., Seyfarth H. Tables of the 3-j, 6-j, F_k, A_k, P_k and A_{kk}-Coefficients.... KFA Such, 1975.
35. Arns R.G., Wiedenbeck M.L. Phys.Rev., 1958, 111, p.1631.

36. Ваврышук Я., и др. В кн.: Материалы IX совещания по нейтронодефицитным изотопам, Дубна, 1966.
37. Аликов Б.А. и др. ОИЯИ, Р13-10911, Дубна, 1977.
38. Гусев Н.С., Дмитриев П.П. Квантовые излучения радиоактивных нуклидов. Атомиздат, М., 1977.
39. Джелепов Б.С., Зырянова Л.Н., Суслов Ю.П. Бета-процессы, "Наука", Л., 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 августа 1978 года.