

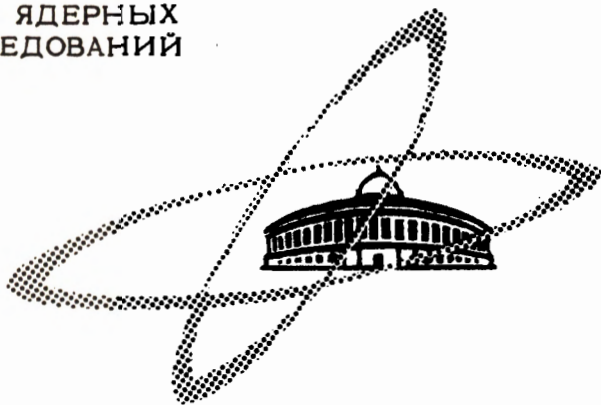
С 341.18

A-209

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2272



М.П. Авотина, Е.П. Григорьев, Ж.Т. Желев,
А.В. Золотавин, В.О. Сергеев

РАСПАД Eu^{145}

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1965

2272

3530/1. 4p.

М.П. Авотина,^{к/} Е.П. Григорьев,^{к/} Ж.Т. Желев,
А.В. Золотавин,^{к/} В.О. Сергеев^{к/}

РАСПАД Ед¹⁴⁶

Общественный институт
и исследования
БИБЛИОТЕКА

2/

Ленинградский университет

Р а с п а д Eu^{145}

Среди ядер переходной области от сферических к деформированным ($A = 140-150$) особый интерес представляет Sm^{145} . Ядро ${}_{82}\text{Sm}^{145}$ имеет сверхзаполненную оболочку $N = 82$ один нейтрон, что налагает особый отпечаток на свойства энергетических уровней этого ядра. Например, уровни $3p_{3/2}$ и $2f_{5/2}$ в Sm^{145} лежат значительно выше, чем в соседних изотопах, причем порядок следования их в Sm^{145} иной по сравнению с Sm^{147} и Sm^{148} . С другой стороны, Sm^{145} обладает рядом свойств, присущих всем нечетным изотопам самария в этой области.

Изучению свойств уровней Sm^{145} посвящен ряд экспериментальных работ [1-5]. Во всех этих работах источником информации об уровнях Sm^{145} служил радиоактивный распад Eu^{145} . Однако во всех указанных работах спектр излучения Eu^{145} исследовался с невысоким разрешением. Погрешность в определении энергии γ -переходов составляла $\approx 0,2\%$ и более. Среди полученных различными авторами данных об интенсивностях конверсионных линий имеются существенные расхождения.

С помощью двух магнитных спектрометров типа $\pi\sqrt{2}$ с разрешением $0,1\%$ ($r_0 = 10$ мм) и $0,2\%$ ($r_0 = 500$ мм) мы исследовали спектр конверсионных электронов Eu^{145} . Применение метода протонного резонанса позволило определить энергии γ -переходов с точностью $0,05\%$.

Источники Eu^{145} были получены в результате химического и хроматографического выделения европиевой фракции из танталовой мишени, облученной протонами с энергией 660 Мэв на синхротроне ОИЯИ. Радиоактивный препарат наносился электролитическим методом на платиновую полоску размерами 2×20 мм или медную позолоченную проволоку длиной 20 мм и диаметром $0,1$ мм.

Период полураспада $\text{Eu}^{145} = 5,9$ дней [6]. Других изотопов европия с близким периодом полураспада, кроме Eu^{146} ($T_{1/2} = 4,4$ дня), неизвестно. Чтобы различить спектры обоих изотопов, было проведено исследование европиевой фракции, где присутствовали оба изотопа, и гадолиниевой фракции, в которой не было Eu^{145} , а Eu^{146} при-

существовал как дочерний изотоп Gd^{146} . Этим методом была проверена принадлежность к распаду Eu^{145} всех переходов, приведенных в таблице 1, в которой представлены данные об энергиях γ -переходов и интенсивностях K -конверсионных линий. Энергия γ -переходов 110,9 и 191,4 кэВ была определена в специальных опытах, в которых использовался источник радиоактивного осадка тория ($Th\ B + C + C' + C''$). В этой же таблице приведены результаты работ Антоновой и др.^{/1/}, Желева^{/2/} и Оберски и др.^{/3/}. Для большинства переходов имеется хорошее согласие в определении интенсивностей конверсионных линий по сравнению с данными работ^{/1/} и^{/2/}, однако следует отметить, что интенсивность K -линии перехода 191,4 кэВ, по нашим данным, в 3,5 раза больше, чем указывается Антоновой и др.^{/1/}, а интенсивность K -542,8 в 2 раза меньше по сравнению с данными Антоновой и др. и Желева^{/2/}. Гамма-переходы с энергиями 252,7; 257,0; 1803,7 кэВ наблюдались впервые. В последнем столбце таблицы 1 указаны числа переходов на 100 распадов Eu^{145} . Эти значения были получены в результате сравнения интенсивности конверсионных линий Eu^{145} с интенсивностью K - и L -линий перехода 81,25 кэВ, возникающего при распаде дочернего Sm^{145} ($T_{1/2} = 340$ дн).

По нарастанию активности Sm^{145} было установлено, что в нашем источнике присутствует лишь Sm^{145} , накопившийся в результате распада Eu^{145} . При расчетах числа γ -переходов Eu^{145} на распад принято, что число переходов с энергией 81,25 кэВ на распад Sm^{145} согласно работе^{/7/} составляет $0,92 \pm 0,04$. Коэффициент конверсии α для этого перехода принимался равным теоретическому для мультипольности $M1 + (0,4 \pm 0,1)\% E2$. Мультипольный состав перехода был определен по отношениям интенсивностей L_I , L_{II} и L_{III} конверсионных линий, которые хорошо разрешились. Отношение числа конверсионных электронов какого-либо γ -перехода в распаде Eu^{145} , например $E2$ -перехода 892,8 кэВ, к числу конверсионных электронов перехода 81,25 кэВ в распаде Sm^{145} спустя время t после разделения самариевой и европиевой фракции определяется формулой

$$\frac{N_1 (893,8 Eu^{145} + Sm^{145})}{N_2 (81,25 Sm^{145} + Pm^{145})} = \frac{K_1(1+\alpha_2)^{-1} \cdot \lambda_2 - \lambda_1}{K_2(1+\alpha_1)^{-1} \cdot \lambda_1} \cdot \frac{e^{-\lambda_1 t}}{e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}}$$

где K_1 - число переходов с энергией 893,8 кэВ на распад Eu^{145} , K_2 - число переходов с энергией 81,25 кэВ на распад Sm^{145} , $K_2 = 0,92 \pm 0,04$ ^{/7/},

α_1 и α_2 - полные коэффициенты внутренней конверсии для переходов 893,8 и 81,25 кэВ соответственно, λ_1 и λ_2 - постоянные распада Eu^{145} и Sm^{145} .

По этой формуле было вычислено значение $K_1 = 0,71 \pm 0,07$. Зная относительные интенсивности конверсионных линий (табл. 1) и коэффициенты внутренней конверсии γ -переходов (таблица 4), мы определили числа других обнаруженных нами переходов на распад Eu^{145} . Между уровнями Sm^{145} (рис. 1) могут идти переходы, которые не наблюдались ни в одной из работ. Верхние пределы интенсивностей их K -конверсионных линий приведены в таблице 2.

Данные о мультипольностях γ -переходов 110,9; 191,4 и 893,8 кэв, полученные по отношениям $K : L$ и $L_I : L_{II} : L_{III}$ приведены в таблице 3. Большое значение отношения $K : L$ для перехода 191,4 кэв позволяет считать этот переход дипольным. Наше заключение о квадрупольном характере перехода 893,8 кэв согласуется с результатом изучения $\gamma - \gamma$ угловых корреляций^{/8/}. Выбор между мультипольностями $E2$ и $M2$ из наших данных сделать нельзя, однако измерение абсолютного значения a_k для перехода 893,8 кэв^{/1/} свидетельствует о том, что этот переход типа $E2$.

В таблице 4 приводятся значения коэффициентов конверсии, определенные путем сравнения интенсивностей K -конверсионных линий и интенсивностей γ -лучей. Данные по γ -спектру взяты из работы Деметера и др.^{/8/}, у которых имелся чистый препарат Eu^{148} . Значения I_k/I_γ нормированы по теоретическому коэффициенту конверсии $a_k(E2)$ для перехода 893,8 кэв. Значения a_k для переходов 110,9 и 191,4 кэв находятся в качественном согласии с теоретическими значениями для мультипольностей, которые были приписаны этим переходам по отношениям $K : L$ и $L_I : L_{II} : L_{III}$ (таблица 3). Значение a_k для перехода 191,4 кэв получилось близким для мультипольности $E1$. Приписание мультипольности $E1$ этому переходу противоречит результатам анализа баланса интенсивностей γ -переходов, так как при этом получается, что интенсивность входящих на уровень 1436,6 кэв переходов больше интенсивности уходящих переходов.

Приписание мультипольности $M1$ переходу 191,4 кэв согласуется с балансом интенсивностей в предлагаемой схеме, но противоречит данным об интенсивностях γ -лучей^{/6/}. Следует отметить, что γ -191,4 проявляется в γ -спектре как сравнительно слабый пик на большом комптоновском фоне.

Зная число переходов на распад, можно составить баланс интенсивностей γ -переходов в схеме распада Eu^{148} и определить интенсивности β -распада на уровне Sm^{148} (таблица 5). В последней графе этой таблицы приведены значения I_{β^+} , соответствующие этим интенсивностям. В работе^{/8/} показано, что жесткая компонента β^+ -спектра идет на основное состояние Sm^{148} . Энергия распада Eu^{148} взята равной 2760 ± 40 кэв согласно диссертации Желева^{/2/}. В этой работе приводится отношение интенсивностей компонент β^+ -спектра к интенсивности K 893,8 : $(\beta_0 / K_{893,8}) = 5,5$ и $(\beta_{893,8}^+ / K_{893,8}) = 2,2$. По нашим данным, интенсивность K 893,8 составляет 0,18% от числа распадов Eu^{148} . Отсюда следует, что интенсивность компоненты β^+ -спектра, идущей на основное состояние Sm^{148} , составляет 1,0%, а на уровень 893,8 кэв - 0,4% от числа распадов Eu^{148} . Используя значения для интенсивностей β -распада на основной и первый возбужденный уровни Sm^{148} , можно определить отношение K/β^+ для распада на эти уровни: (K/β^+) осн. сост. ≤ 5 ; $(K/\beta^+)_{893,8} = 100 \pm 20$.

Эти значения можно сопоставить с вычислениями Цвайфеля и Зыряновой для разрешенных переходов. С учетом погрешности в определении энергии распада E_{α}^{145} теоретические значения получаются $(K/\beta^+)_{\text{осн.сост.}} = 3,0 \pm 0,3$ и $(K/\beta^+)_{893,8} = 28 \pm 5$. Экспериментальное значение для запрещенного перехода на уровень 893,8 кэв оказалось примерно в 3 раза больше теоретической величины.

На основании наших данных об энергиях и относительных интенсивностях γ -переходов в распаде E_{α}^{145} и данных работы Деметера и др. ^{/6/} по γ - γ -совпадениям и угловым корреляциям мы приводим схему уровней Sm^{145} (рис. 1).

1. Характеристики основного и первого возбужденного состояний Sm^{145} хорошо известны. Приписание основному состоянию Sm^{145} спина и четности $\frac{7}{2}^-$ согласуется с его схемой распада. Такие же характеристики имеют соседние нечетные изотопы самария Sm^{147} и Sm^{149} . Первому возбужденному состоянию Sm^{145} с энергией 893,8 кэв приписаны характеристики 3/2- на основании мультипольности перехода 893,8 кэв (E2) и данных по угловым корреляциям.

2. Данные по угловым γ - γ -корреляциям ^{/6/} свидетельствуют о том, что спин уровня 1436,6 кэв 5/2 или 1/2. Исходя из E1 мультипольности γ -перехода 542,8 кэв, мы приписываем этому состоянию положительную четность. Анализ баланса интенсивностей показывает, что электронный захват на этот уровень составляет менее 1% от числа распадов E_{α}^{145} . Прямой переход с этого уровня на основное состояние Sm^{145} если и существует, то очень мало интенсивен (таблица 2). Поэтому мы предполагаем, что уровень 1436,6 кэв имеет спин и четность 1/2+.

3. Из данных по угловым корреляциям известно, что спин уровня 1547,5 кэв -3/2. Наши данные о мультипольностях γ -переходов 110,9 кэв (M1) и 853,6 кэв (E1) и вывод о квантовых характеристиках уровней 893,8 кэв и 1436,6 кэв позволяют приписать уровню 1547,5 кэв положительную четность.

4. Из работы Деметера и др. ^{/6/} по γ - γ -совпадениям следует, что γ -переход 191,4 кэв идет на уровень 1436,6 кэв. Этот факт определяет положение уровня 1628,0 кэв. Выше уже отмечалось, что приписание мультипольности E1 переходу 191,4 кэв противоречит балансу интенсивностей при таком размещении этого перехода. Для согласования баланса интенсивностей необходимо допустить, что переход 191,4 кэв типа M1 (из таблицы 3 следует, что этот переход дипольный). Тогда уровень 1628,0 кэв, так же как и уровень 1436,6 кэв и 1547,5 кэв, имеет положительную четность.

5. Существование уровня 1658,8 кэв подтверждается переходами:

$$0 + 1658,7 = 1658,7;$$

$$893,8 + 764,8 = 1658,6.$$

По мультипольностям этих переходов (таблица 3) можно сделать вывод, что уровень 1658,8 кэв имеет отрицательную четность и спин 3/2- или 5/2-.

6. Уровни 1804,7 и 1877,8 кэв определяются соответствующими переходами на основное состояние Sm^{148} . Эти переходы не могут идти на первый возбужденный уровень 883,8 кэв, так как энергия распада $E_{\alpha} = 2760 + 40 \text{ кэв}^{1/4}$.

7. Уровень 1897,0 кэв определяется переходами

$$0 + 1897,4 - 1897,4;$$

$$1888,7 + 388,3 = 1897,0.$$

Мы предполагаем, что его характеристики $\frac{7}{2}^-$. Схему уровней $^{148}_{82}\text{Sm}$, имеющего один нейтрон сверх заполненной оболочки $N = 82$, можно анализировать с точки зрения одночастичной модели. Действительно, высокое положение первого возбужденного уровня в Sm^{148} (883,8 кэв) соответствует одночастичным представлениям. Уровни других четно-протонных ядер с $N = 82$ мало изучены, однако первые возбужденные уровни в $^{141}_{82}\text{Ce}$ и $^{143}_{82}\text{Nd}$ также лежат достаточно высоко (600–700 кэв). Основному и первому возбужденному уровням Sm^{148} можно приписать одночастичные конфигурации $2f_{7/2}$ и $3p_{3/2}$. Однако существование уровней с положительной четностью не объясняется в рамках простой оболочечной модели. Можно предположить, что уровни с положительной четностью являются трехчастичными, связанными с разрывом пары протонов. Возможно, что уровни с энергией возбуждения $\sim 1,5$ Мэв в ядрах переходной области $A = 140-150$ следует анализировать по схеме Нильссона. В этом случае состояниям 1436,8 кэв ($1/2^+$) и 1547,5 кэв ($3/2^+$) можно приписать конфигурации (660) и (651). Уровни с положительной четностью найдены также в $^{147}_{81}\text{Sm}$ и, по-видимому, в Sm^{149} .

Л и т е р а т у р а

1. Н.М. Антонова, А.А. Башилов, Б.С. Джелепов, К.Г. Каун, А.Ф.А. Мейер, В.Б. Смирнов. ЖЭТФ, 40, 23 (1961).
2. Ж.Т. Желев. Диссертация ОИЯИ, Дубна, 1964.
3. J. Oberku, A.H. Warshaw. Nucl. News (1961).
4. Б.С. Джелепов, Ж.Т. Желев, А.В. Кудрявцева, О.В. Ларюнов, М.К. Никития, Р. Стенич. Препринт ОИЯИ, 587, Дубна, 1960.
5. Ю.А. Александров, М.К. Никития, Изв. АН СССР (сер. физ.), 25, 1176 (1961).
6. И. Деметер, Ф. Молнар, Е. Наджаков, А.Ф. Новгородов. Препринт ОИЯИ, Р-2052, Дубна, 1965;
Программа и тезисы XV совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра, стр. 80, Минск, 1965.
7. A.R. Rossi, V.H. Ketelle, H. Thomas, B.R. Ket. Phys. Rev., 113, 239 (1959).
8. К.Я. Громов, Ж.Т. Желев, В.В. Кузнецов, Ма Хо-шк, Г. Музиоль, Хань Шу-жунь. Программа и тезисы XV совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра, стр. 51, Минск, 1965.
9. М.П. Авотина, Е.П. Григорьев, А.В. Золотавни, Н.А. Лебедев, В.О. Сергеев. Препринт ОИЯИ, 2271, Дубна, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 июля 1965 г.

Таблица 1

Энергии γ -переходов и интенсивности К-конверсионных линий E_K 145

E_γ , кэВ				E_K			Число переходов на 100 распадов
Наши данные	Оберски и Валст-ра / 3 /	Антоньева и др. / 1 /	Желев / 5 /	Наши данные	Антоньева и др. / 1 /	Желев / 5 /	
1	2	3	4	5	6	7	8
110,9 \pm 0,1	110,6	110,3 \pm 0,5	110	790 \pm 40	750	780	4
191,4 \pm 0,1	-	191 \pm 1	191	70 \pm 10	20	70	2
213,1 ^x \pm 0,2			214 \pm 2	1,7 \pm 0,3		~ 3	
252,7 ^x \pm 0,2				1,6 \pm 0,3			
257,0 \pm 0,2				1,0 \pm 0,2			
338,1 \pm 0,4			338 \pm 2	~ 1			
349,7 ^x \pm 0,3			351	0,8 \pm 0,2			
365,5 ^x \pm 0,3			364 \pm 2	1,2 \pm 0,3		~ 3	
373,8 ^x \pm 0,3			372 \pm 2	1,0 \pm 0,2		~ 3	
542,8 \pm 0,4	541,9	543 \pm 2	543	7 \pm 1	15	12 \pm 2	7
653,6 \pm 0,4	653,3	656 \pm 3	654	17 \pm 2	13	14,5 \pm 2	20

Таблица 1

(продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
764,8 ± 0,3	-	766 ± 4	766	5,2 ± 0,5	6	7 ± 1	2
893,8 ± 0,3	893,4	894 ± 4	894	100	100	100	71
1658 ± 1,0		1663 ± 5	1660	8 ± 1	4,5	7,7 ± 0,4	18,5
1804,7 ± 1,5				0,2 ± 0,1			~0,5
1877,8 ± 1,5		1867 ± 8	1870	0,4 ± 0,1	0,4	0,6 ± 0,1	~1
1997,4 ± 1,5		2001 ± 6	2000	2,7 ± 0,3	2,1	3,3	10

х) Не размещены в предлагаемой схеме распада E_{α}^{145}

Т а б л и ц а 2

Оценка интенсивностей возможных переходов
в распаде Eu^{147}

Переход	Интенсивность K-линии ^{x/}	Размещение перехода
734	< 0,3	I628 → 894
982	< 0,2	I876 → 894
II02	≤ 0,4	I996 → 894
I437	< 0,2	I437 → 0
I548	< 0,6	I548 → 0
I628	< 0,2	I628 → 0
3I2(см ² /)	< 0,3	

^{x/} В единицах таблицы 1.

Таблица 3

Определение мультипольностей γ -переходов по отношениям $K:L$ и $L_I : L_{II} : L_{III}$

Переход	K : L					L _I : L _{II} : L _{III} опыт	Выводы о мультипольности
	опыт	E _I	E ₂	M _I	M ₂		
110,9	7 ± 0,5	6,5	2,6	6,9	3,7	I : (0,12 ± 0,02) : ~ 0,02	M _I + (≲ 2E ₂)
191,4	7 ± 1	6,7	3,1	7,4	5,3		E _I ; M _I
893,8	6,4 ± 0,3	7,4	6,5	7,0	6,6		E ₂ (M ₂)

Таблица 4

Определение мультипольностей γ -переходов по коэффициентам внутренней конверсии E_{α} ¹⁴⁸

Переход	I_k	I_{α}^{γ}	$a_k = \frac{I_k}{I_{\alpha}^{\gamma}} \cdot 2,66 \cdot 10^{-3}$	Теоретические значения a_k				Выводы о мультипольности
				E1	E2	M1	M2	
110,9	790 ± 40	3	0,7 ± 0,2	0,18	0,85	1,17	9,1	M1 + E2
191,4	70 ± 10	2,5	0,08 ± 0,02	0,04	0,17	0,25	1,35	E1
				Умножено на 10^3				
542,8	7 ± 1	10	1,9 ± 0,5	3,55	10	17	56	E1
653,6	17 ± 2	24	1,9 ± 0,4	2,25	5,35	9,3	34,5	E1
764,8	5,2 ± 0,5	3	4,7 ± 1,5	1,55	3,8	6,3	17,5	M1 + E2
893,8	100	100	2,66 ^{xx}	1,15	2,66	4,25	10,8	E2
1658,7	8 ± 1	26	0,8 ± 0,2	0,36	0,79	1,05	2,3	E2; (M1 + E2)
1997,4	2,7 ± 0,3	4	0,52 ± 0,12	0,26	0,55	0,71	1,5	E2; (M1 + E2)

x) взяты из работы Деметера и др. /6/. . Погрешности приняты равными 20%.

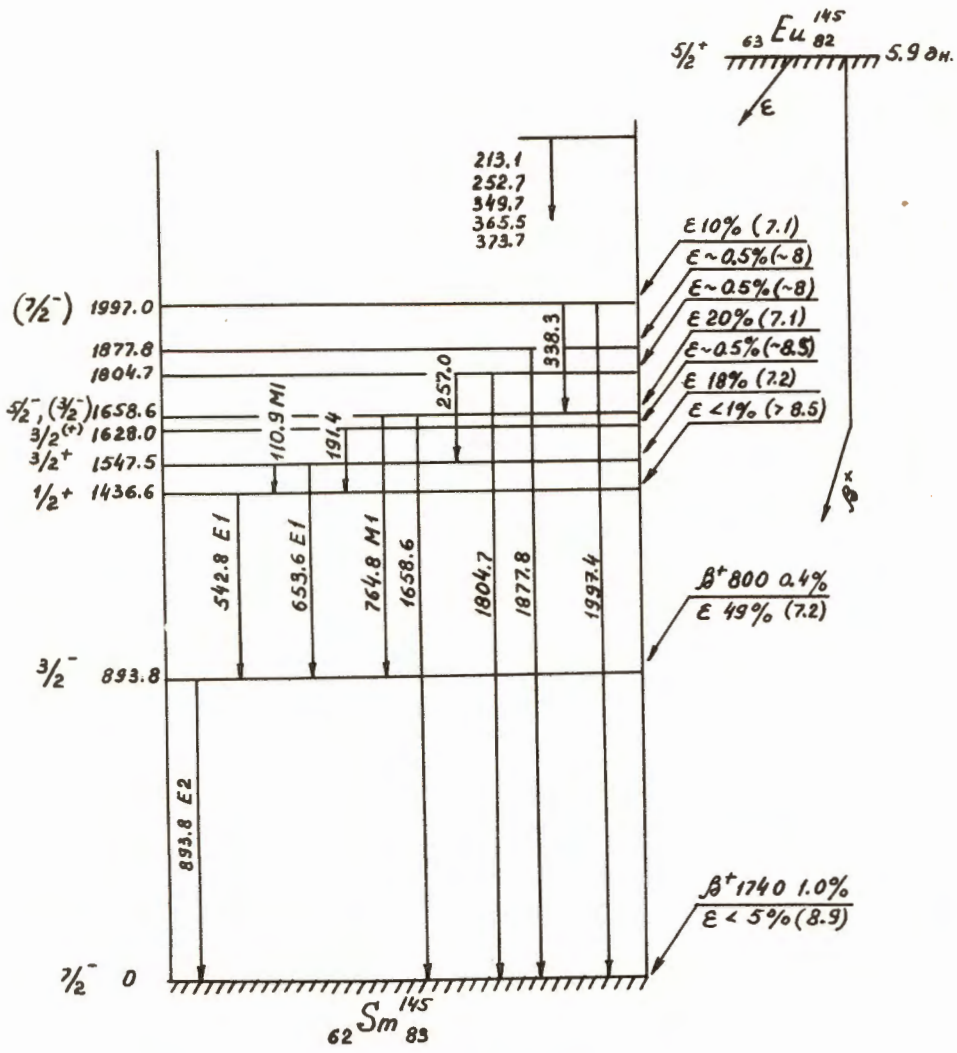
xx) a_k для перехода 893,8 взят равным теоретическому значению для E2-мультипольности.

Т а б л и ц а 5

Баланс интенсивностей β - переходов в распаде Ед¹⁴⁸. Значения $\log ft$

Уровень	Интенсивность	γ - переходов, %	Интенсивность β -перехода, %	$\log ft$
	приходящих	уходящих		
0	100 ± 10		$\sim 5\%$	8,9
898,8	22 ± 3	71 ± 5	49 ± 8	$7,2 \pm 0,1$
1436,6	6 ± 1	7 ± 1	1	8,5
1547,4	0,5	24 ± 3	24 ± 3	$7,1 \pm 0,1$
1628,0	0,5	$2 \pm 0,5$	$2 \pm 0,5$	$8,0 \pm 0,15$
1658,6	0,5	20 ± 3	20 ± 3	$7,0 \pm 0,1$
1997,0	0,5	10 ± 2	10 ± 2	$7,1 \pm 0,1$

*) Взято по работам Громова и др. /8/ и Джелпова и др. /4/.



Р и с. I. Схема распада Eu^{145}