

Г-874

Изв. АН СССР, сер. физ., 1967,
т. 31, № 10, с. 1717-1723.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6 - 3127



К.Я. Громов, В.В. Кузнецов, П. Ненов,
О.Б. Нильсен, О. Скилбрайт, В.И. Фоминых,
Д. Христов

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ^{151}Gd

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1967.

P6 - 3127

4833/3
К.Я. Громов, В.В. Кузнецов, П. Ненов,
О.Б. Нильсен*, О. Скилбрайт*, В.И. Фоминых,
Д. Христов

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ^{151}Gd

Направлено в "Изв. АН СССР"
(серия физическая)

* Институт им. Нильса Бора, Копенгаген.



1. В в е д е н и е

Исследование излучения ^{151}Gd проводилось ранее в ряде работ /1-4/. Антоньевой и др. /1/ исследовался спектр конверсионных электронов, Штайхелем и др. /2/ изучались спектр гамма-лучей и спектры $\gamma - \gamma$ -совпадений. В работах /3,4/ были продолжены исследования спектра конверсионных электронов ^{151}Gd . Авторами этих работ были предложены варианты схемы распада $^{151}\text{Gd} \rightarrow ^{151}\text{Eu}$. В настоящей работе изучался спектр конверсионных электронов и спектр гамма-лучей ^{151}Gd .

Предварительные результаты наших исследований гамма-спектра ^{151}Gd были опубликованы в работе /5/.

II . Экспериментальная часть

1. Приготовление источников

Для исследования гамма-спектра ^{151}Gd мы использовали препарат гадолиния, образовавшегося при распаде тербиевой фракции. Тербиевая фракция получалась в результате глубокого расщепления ядер тантала под действием протонов с энергией 660 Мэв на синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований в Дубне. Мишени тантала облучались в течение 2-10 часов на внутреннем пучке синхроциклотрона. Из облученных мишеней выделялась группа редкоземельных элементов. Тербиевая фракция выделялась из смеси редкоземельных элементов хроматографическим методом /6/. Спустя полгода из тербиевой фракции выделялся гадолиний. В полученном таким образом препарате содержались только ^{151}Gd и ^{153}Gd .

Для изучения спектра конверсионных электронов ^{151}Gd был использован моноэвотопный препарат ^{151}Gd , полученный после распада ^{151}Tb . Препарат ^{151}Tb получался при разделении тербиевой фракции на масс-сепараторе /7/ в институте имени Нильса Бора. Разделение тербиевой фракции на масс-сепараторе проводилось спустя 20 часов после облучения танталовой мишени в Объединенном институте ядерных исследований.

2. Исследование спектра конверсионных электронов ^{151}Gd

Спектр конверсионных электронов исследовался с помощью тороидального шестизазорного бета-спектрометра /8/. Регистрация электронов на тороидальном шестизазорном бета-спектрометре осуществлялась двумя независимыми сцинтилляционными детекторами, позволяющими одновременно измерять два спектра конверсионных электронов, причем в нашем случае один из спектров измерялся с "высоким" разрешением (разрешение $\approx 0,5\%$; светосила $< 1\%$), а другой - с высокой светосилой (разрешение $\approx 1\%$, светосила $\approx 3\%$). При исследовании спектров использовались только три зазора бета-спектрометра. Это позволило получить спектры конверсионных электронов в области малых энергий без искажений за счет поглощения электронов алюминиевой подложкой препарата.

Эффективность регистрации L, M и N - конверсионных электронов перехода 21,7 кэВ на тороидальном бета-спектрометре была $\approx 20\%$, $\approx 75\%$ и $\approx 80\%$, соответственно.

Спектры, полученные при разрешении $\approx 0,5\%$ и $\approx 1\%$, представлены на рис. 1. Данные об энергиях и относительных интенсивностях конверсионных электронов приведены в таблице 1, здесь же для сравнения приведены данные работы /3/.

3. Исследование гамма-спектра ^{151}Gd

Гамма-спектр ^{151}Gd измерялся с помощью плоско-параллельного Ge(Li) полупроводникового детектора с размерами $(1,5 \text{ см}^2 \times 0,25 \text{ см})$ и разрешением 3,5 кэВ на гамма-линии 279 кэВ ^{203}Hg с использованием 256-канального амплитудного анализатора. Измеренный гамма-спектр представлен на рис. 2. Как видно из рисунка, в гамма-спектре наблюдаются гамма-лучи, принадлежащие ^{153}Gd .

Гамма-спектр ^{153}Gd исследовался в ^{/9/}. Это позволило нам проанализировать спектр гамма-лучей ^{151}Gd . Как видно из рисунка 2, нами наблюдались слабые по интенсивности γ -лучи с энергией 197, 225, 260, 287, 330 и 351 кэв.

Экспериментальные данные об энергиях и относительных интенсивностях гамма-лучей ^{151}Gd представлены в таблице 1. В этой таблице приведены для сравнения результаты работы ^{/2/}. Погрешности при определении интенсивностей гамма-лучей составляют 15% для интенсивных переходов и 25% для слабых переходов.

III. Схема распада $^{151}\text{Gd} \rightarrow ^{151}\text{Eu}$

Анализ гамма-спектра и спектра конверсионных электронов позволил рассчитать экспериментальные значения коэффициентов внутренней конверсии и сделать выводы о мультипольности большинства переходов в ядре ^{151}Eu . При определении коэффициентов внутренней конверсии принималось, что переход с энергией 175 кэв типа $M2$ ^{/3/}.

Значения экспериментальных и теоретических коэффициентов внутренней конверсии и выводы о мультипольности переходов приведены в таблице 2. Наши выводы о мультипольностях переходов хорошо согласуются с данными работ ^{/2,3/}.

Полученные результаты подтверждают схему уровней ^{151}Eu , предложенную в работах ^{/1,2,3/} (рис. 3).

Спин основного состояния ^{151}Eu определен экспериментально в опытах по парамагнитному резонансу ^{/10/} и в оптических измерениях сверхтонкой структуры ^{/11/}. Он равен $5/2$. С другой стороны, из сравнения с соседними ядрами ^{147}Eu и ^{149}Eu основному состоянию ^{151}Eu следует приписать спин и четность $5/2+$. Первый возбужденный уровень имеет энергию 21,7 кэв и разряжается интенсивным переходом с той же энергией в основное состояние. Этот же уровень наблюдался при распаде ^{151}Sm и в опытах по эффекту Мессбауэра ^{/12/}. Мультипольность перехода с энергией 21,7 кэв определена в работах ^{/3,4/} как $M1$ с небольшой примесью $E2$ ($\delta^2 = E2/M1 = 0.0012 + 0.0003$ ^{/4/}).

В работе ^{/2/} в опытах по γ - γ совпадениям установлены каскады γ -переходов (154, 175, 22 кэв) и (107, 243 кэв). Эти сведения позволяют ввести

уровни с энергиями 197, 243 и 351 кэв. Мультипольности переходов позволяют приписать этим уровням квантовые характеристики $11/2^-$, $(5/2, 7/2^-)$ и $9/2^-$, соответственно. Наблюдавшиеся нами слабые γ -лучи с энергией 197, 225, 330 и 351 кэв подтверждают также введенные уровни 197, 243,8 и 351 кэв. Переход с энергией ≈ 225 кэв нами размещен между уровнями 243,8 и 21,7 кэв.

На основании наблюдения перехода 260 кэв и 239 кэв ^{/3/} можно ввести уровень с энергией 260 кэв.

Уровень с энергией 308 кэв введен в работах ^{/1,3/}. Хармац и др. ^{/3/} приписали этому уровню положительную четность. Авотина и др. ^{/4/} приписывают тому же уровню спин $7/2$ и положительную четность. Штейхель и др. ^{/2/} на основании наблюдения слабых совпадений (308-22 кэв) вводят уровень с энергией 330 кэв, размещая переход 308 кэв в каскаде с переходом 22 кэв.

Мы считаем, что при рассмотрении вопроса с размещением γ -перехода 308 кэв следует отдать предпочтение первой возможности (уровень 308 кэв) из-за хорошего совпадения суммы энергий $286,3 - 21,7 = 308,0$ ^{/3/} с энергией перехода 308 кэв.

О четности уровня 308 кэв пока высказаться трудно. Полученные нами значения a_k для γ -переходов 308 и 287 кэв не позволяют сделать выбор между $M1$ и $(E1 - M2)$. Определение интенсивности групп Оже-электронов позволило нам на основании баланса интенсивностей определить доли электронного захвата в основное и возбужденное состояния $lgfr$. Значения $lgfr$ рассчитывались при предположении, что разность масс $^{151}Gd - ^{151}Eu$ составляет 700 кэв ^{/13/}.

Нами получено, что ^{151}Gd в 41% и 37% случаев распадается путем электронного захвата в первое и основное состояния ^{151}Eu , соответственно. Ранее в работах ^{/2,3,4/} доля электронного захвата в основное состояние ^{151}Eu оценивалась $\leq 5\%$.

Обсуждение результатов

Приписанные квантовые характеристики основному состоянию $5/2^+$, первому возбужденному уровню 21,7 кэв $7/2^+$ и второму возбужденному уровню 197 кэв $11/2^-$ ^{151}Eu согласуются с моделью оболочек и соответствуют оболочкам $d 5/2, g 7/2$ и $h 11/2$.

По модели оболочек и из сравнения с соседними ядрами ^{147}Gd и ^{149}Gd основному состоянию $^{151}_{64}\text{Gd}_{87}$ приписываются квантовые характеристики $7/2^-$ ($f\ 7/2$).

Обращает на себя внимание сходство нижних уровней ядер ^{147}Eu , ^{149}Eu и $^{151}\text{Eu}/14/$ (рис. 4).

Для первых двух возбужденных уровней этих ядер измерены времена жизни $/13,14/$, что позволило нам провести сравнение приведенных вероятностей с рассчитанными приведенными вероятностями по Мошковскому $/15/$ (таблица № 3). Как видно из этой таблицы, приведенные вероятности и факторы ускорения для аналогичных переходов в этих ядрах по значению близки друг к другу.

Это указывает на то, что характер этих уровней одинаков, однако, по мере удаления от заполненной нейтронной оболочки ($N=82$), и приближения к области деформированных ядер энергии уровней снижаются и энергетическая разность между ними становится меньше (рис. 4) и уже для ядра $^{153}_{63}\text{Eu}_{90}$ наблюдается другой характер нижних уровней, описываемых уже схемой Нильсона.

Наблюдаемые уровни 243,8 и 351 кэВ с отрицательной четностью трудно объяснить с точки зрения оболочечной модели. Одночастичные уровни с отрицательной четностью должны иметь большую энергию возбуждения. По-видимому, эти уровни имеют коллективную природу. Как видно из таблицы 3, переход 197 кэВ типа E3 ускорен ($F_{\text{вск}} = 3$).

Это указывает на то, что уровень 197 кэВ ($11/2^-$) не является чистым одночастичным состоянием.

В заключение авторы выражают благодарность проф. К.Ф. Александеру за дискуссию и ряд ценных замечаний.

Л и т е р а т у р а

1. Н.М. Антоньева, А.А. Башилов, Б.С. Желепов, Б.К. Преображенский. Изв. АН СССР, сер. физ. 22, 135 (1958).
2. E. Steichele und P. Keinic, Z. f. Phys. 175, 405-415 (1963).
3. V. Hamatz and T. H. Handley, Nucl. Phys. 81, 3, 481 (1966).
4. М.П. Авотина, Е.П. Григорьев, А.В. Золотавин, В.О. Сергеев, Я. Врзал, Я. Липтак, Н.А. Лебедев и Я. Урбанец. Изв. АН СССР сер. физ., XXX, 8, 1304, (1966).

5. К.Я. Громов, А.И. Калинин, В.В. Кузнецов, П. Ненов, Б.П. Осипенко, В.И. Фоминых. Препринт ОИЯИ № 2724, Дубна 1966.
6. Б.К. Преображенский, А.В. Калямин, О.М. Лилова. ЖЭТФ, 2, 1164 (1957).
7. K. O. Nielsen, O. Skilbreid, Nucl. Instr. 2, 15 (1958).
8. O. B. Nielsen, O. Kofoed—Hansen Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk. 29. N6 (1955).
9. G. T. Ewan and A. J. Tavendale, Can. Journ. of Phys. 42, 2286 (1964).
10. Bleaney B., and W. Low Proc. Phys. Soc. (London), A 68, 55 (1955).
11. H. Schuler, und T. Schmidt, Z. f. Phys. 94, 457 (1935).
12. V. S. Shirley, Phys. Rev., 127, 2097 (1962).
13. Б.С. Джелепов, Л.К. Пекер, В.О. Сергеев. "Схемы распада радиоактивных ядер". Москва—Ленинград 1963.
14. Э.Е. Берлович. Изв. АН СССР, ХХIХ, 12, 2176 (1965).
15. "Гамма-лучи" под ред. Л.А. Слив, М—Л. 318 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел
20 января 1967 г.

Т а б л и ц а I

Сводные данные об энергиях и относительных интенсивностях гамма-лучей и линий
конверсионных электронов ^{151}Gd

E перех. кэВ	Наши данные							раб. /3/						раб. /2/	
	I_K	I_L	I_M	I_N	$I_{\text{оже}}$	I_γ	$I_{\text{полн}}$	Eперех кэВ	I_K	$I_{L I}$	$I_{L II}$	$I_{L III}$	I_M	I_γ	
2I,7 KLL KLM KMN		7000±1400	1930±320	430±80	6I2±6I 4I4±50 66±7		9360±180	2I,6		5900	980	640	1970	1200	
I02	II,3±2,2						~40								
I06	2I,3±4,2						~50	I06,6	I3	~4	~2		25		
I53,7	549±56	7I,4	25			2II5±3I7	I566±380	I53,7	495	84		25	I790		
I75,0	1000 * #	I99	66			1000 **	I700±240	I74,9	1000	2I2	25	69	1000		
I97,0	-	3,5±I,0				I2,7±3,2	20±5	I96,5	3	I,5			95		
225±I	~I					~3									
243,8	23,8±2,4	4,8±I,0				I940±290	870±I30	243,6	4I	5,6		I,3	I820		
-						-		239,1	2,2						
260,0	I,2±0,4	0,3				I8±4	I0±3	260,8	I,9						
287,0	<2,8	<0,6	~0,23			29±7	I6	286,3	2,1	0,5					
308,0	I3,6±I,4	2,6	I,I			345±52	I70±26	308,0	23	3,7		I,2	380		
330,0						I8,8±5,0	I0±3	328,8	0,3						
35I,0						38,7±I0,0	20±3						98		

* Интенсивность линии KI75 принята за 1000 единиц.

** Интенсивность гамма-лучей I75 кэВ принята за 1000 единиц.

*** Интенсивность переходов рассчитана в единицах интенсивностей линий конверсионных электронов.

Т а б л и ц а 2

Сравнение экспериментальных и теоретических значений коэффициентов конверсии и выводы о мультипольностях переходов в ядре ^{151}Eu

E перех. кэВ	α эксп. $\times 10^3$		α теор. $\times 10^3$					Мультипольность
	α_K	α_L	E1	E2	E3	M1	M2	
21,7								M1/E2 - 500 *
102								
106								E2 ^{ж)}
153,7	595 \pm 150		75	340	1300	460	2900	M1 ^{жжж)}
175,0	2300		50	230	900	320	2300	M2 ^{жж)}
197,0	580		35	150	550	220	1100	E3
		570 \pm 180	5	52	524	33	24	
243,8	28,2 \pm 7,0		22	90	300	140	610	E1 ($\leq 2,5\%$) M2
260	153 \pm 76		18	70	240	100	490	M1, E1 + ($\leq 45\%$) M2
287	163 ^{жжж}		16	60	200	90	400	M1, E1 + ($\leq 40\%$) M2
308	91 \pm 20		12	39	130	76	300	M1, E1 ($\leq 35\%$) M2
330	33 ^{жжж}		8,4	29	74	47	180	E2, E1 + ($\approx 14\%$) M2

- * Мультипольность переходов определена в работе /3/
- ж) При расчете экспериментальных значений коэффициентов внутренней конверсии принято, что переход 175,0 кэВ типа M2^{/3/}.
- жж) При расчете КВК интенсивности К-линий переходов взяты из работы /3/.
- жжж) Данные работ /3 и 4/ исключают возможность (E1 + M2).

Т а б л и ц а 3

Отношения экспериментальных и рассчитанных по Мошковскому /см. 15/ приведенных вероятностей переходов с аналогичных уровней ядер европия

Ядро	Энергия уровня (кэВ)	Энергия перехода (кэВ)	Тип перехода		Фактор ускор. $F_{\text{уск.}}$
$^{147}_{63}\text{Eu}$ 84	229	229	M1	$7/2^+ \rightarrow 5/2^+$	$7,3 \cdot 10^{-3}$
$^{149}_{63}\text{Eu}$ 86	150	150	M1	$7/2^+ \rightarrow 5/2^+$	$1 \cdot 10^{-2}$
$^{151}_{63}\text{Eu}$ 88	21,7	21,7	M1	$7/2^+ \rightarrow 5/2^+$	$1,8 \cdot 10^{-2}$
$^{147}_{63}\text{Eu}$ 84	625	396	M2	$11/2^- \rightarrow 7/2^+$	$2,05 \cdot 10^{-3}$
$^{149}_{63}\text{Eu}$ 86	497	346	M 2	$11/2^- \rightarrow 7/2^+$	$1,49 \cdot 10^{-2}$
$^{151}_{63}\text{Eu}$ 88	197	175	M2	$11/2^- \rightarrow 7/2^+$	$5,55 \cdot 10^{-3}$
$^{147}_{63}\text{Eu}$	625	625	E3	$11/2^- \rightarrow 5/2^+$	2,3
$^{149}_{63}\text{Eu}$ *	497	497	E3	$11/2^- \rightarrow 5/2^+$	1,7
$^{151}_{63}\text{Eu}$	197	197	E3	$11/2^- \rightarrow 5/2^+$	3

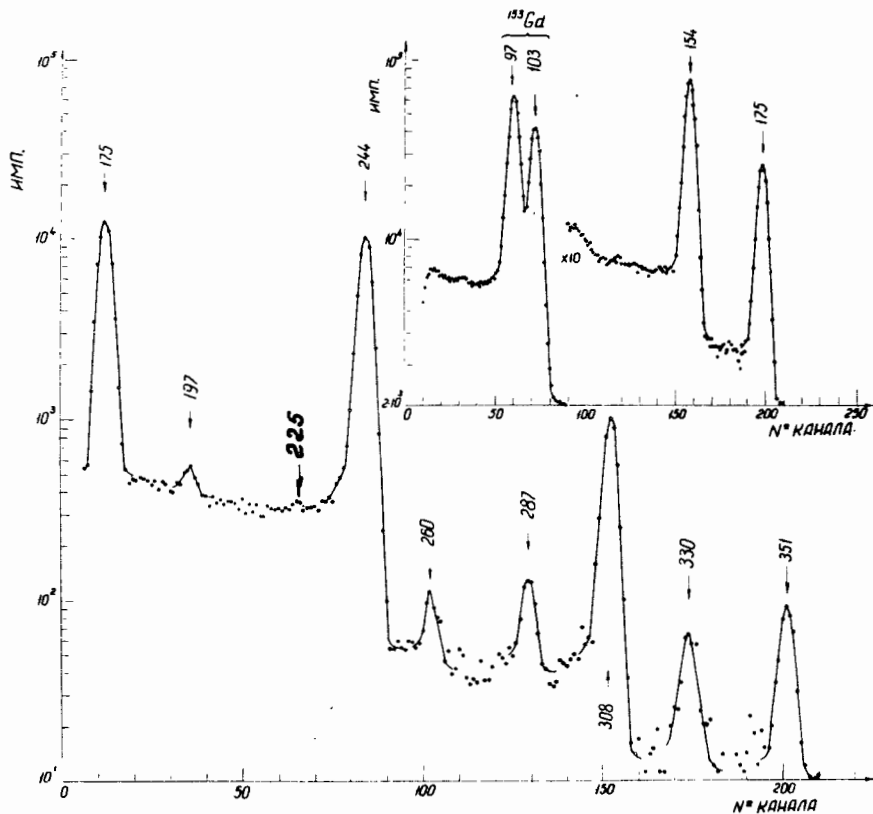


Рис. 2. Гамма-спектр $^{151}\text{Gd} + ^{153}\text{Gd}$, измеренный с помощью Ge(Li) -полупроводникового детектора ($1,5\text{ см}^2 \times 0,25\text{ см}$) с использованием 256-канального амплитудного анализатора.

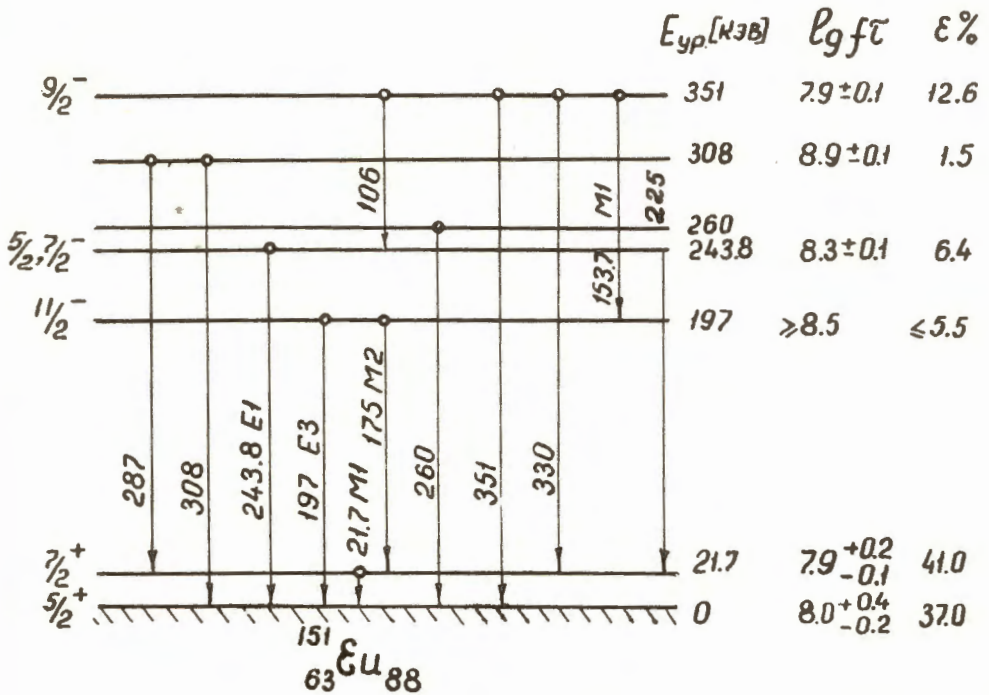
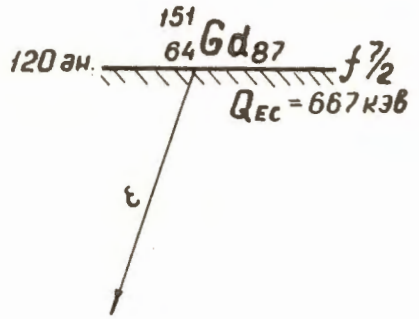


Рис. 3. Схема уровней $^{151}E_{и}$.

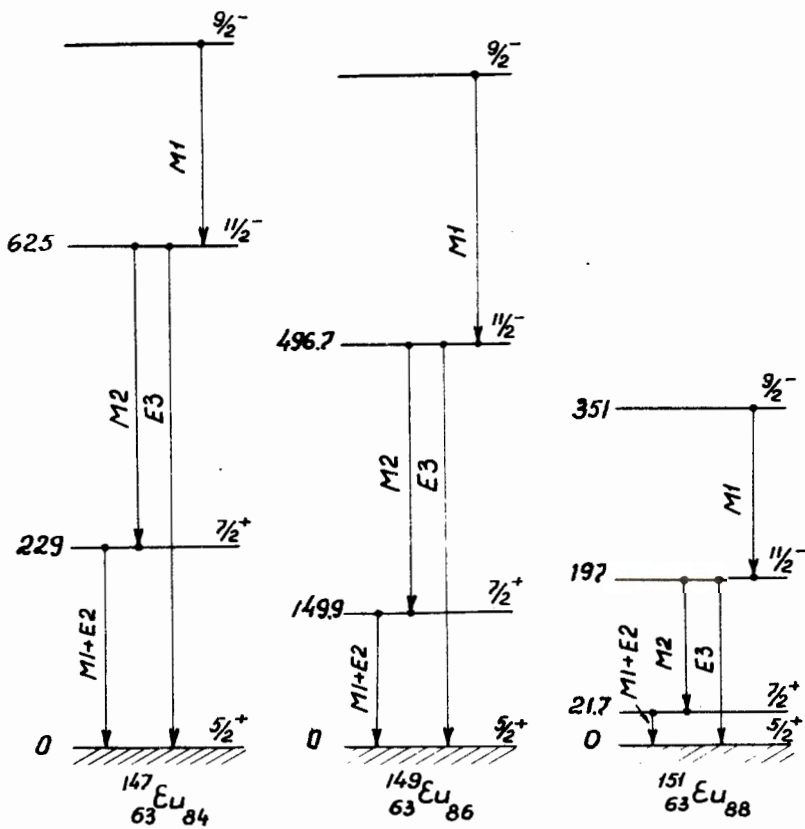


Рис. 4. Сравнение схем уровней ^{151}Eu , ^{149}Eu и ^{147}Eu .