

С 341.16

П-303

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна 1965

14/V-65

P-2052



И. Деметер, Ф. Мольнар,  
Е. Наджаков и А.Ф. Новгородов

О СХЕМЕ УРОВНЕЙ  $\text{Sm}^{146}$   
ИЗ РАСПАДА  $\text{Eu}^{146}$

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

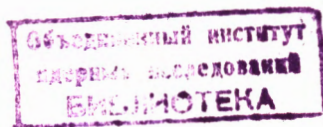
1965

P - 2052

И. Деметер, Ф. Мольнар,  
Е. Наджаков и А.Ф. Новгородов

О СХЕМЕ УРОВНЕЙ  $\text{Sm}^{145}$   
ИЗ РАСПАДА  $\text{Eu}^{146}$

Направлено в журнал "Известия АН СССР"



31831, 11 нр.

## 1. Введение

Изотоп  $\text{Eu}^{145}$  изучался несколькими авторами. Литературу по этому вопросу примерно до 1961 г. можно найти в книге Желепова и др.<sup>/1/</sup>. Изотоп был идентифицирован, измерен его период полураспада ( $5,8 \pm 0,3$  д),  $\gamma$ -спектр, позитронный спектр и спектр конверсионных электронов.

В работах Александрова и др.<sup>/2/</sup> изучен более детально  $\gamma$ -спектр, измерены впервые  $\gamma$ - $\gamma$  совпадения. В работе<sup>/3/</sup>  $\text{Eu}^{145}$  получался в чистом виде путем облучения  $\text{Sm}^{144}$   $\alpha$ -лучами и разделения на масс-сепараторе. Для периода полураспада получено значение  $5,9 \pm 0,1$  д.

Первая схема распада  $\text{Eu}^{145} \rightarrow \text{Sm}^{145}$  была предложена Антоньевой и др.<sup>/4/</sup>. Александров и др.<sup>/2/</sup> предложили два варианта схемы распада. В книге Желепова и др.<sup>/1/</sup> приводятся также два варианта, которые обобщают имевшиеся сведения о распаде  $\text{Eu}^{145}$ .

Разногласия по схеме распада этого изотопа, его сравнительно несложный  $\gamma$ -спектр и новая возможность получить его в чистом виде сделали его хорошим объектом для  $\gamma$ -спектрометрических исследований, проведенных впервые на чистом источнике. Результаты этой работы были представлены на совещании в Дубне<sup>/5/</sup>. Там же появились еще две работы по изучению  $\text{Eu}^{145}$ : по измерению точных энергий  $\gamma$ -переходов<sup>/6/</sup> и по определению разветвления позитронного распада<sup>/7/</sup>. Данные о новых конверсионных линиях можно найти в диссертации Желева<sup>/8/</sup>.

## 2. Источник и аппаратура

Изучению  $\text{Eu}^{145}$  мешал главным образом  $\text{Eu}^{146}$  с близким периодом полураспада (4,4 д). Нам представлялась возможность получать этот изотоп в чистом виде при  $\alpha$ -распаде  $\text{Tb}^{149}$  (4,1ч), который в 10% случаев претерпевает  $\alpha$ -распад. У других изотопов тербия этот процент ниже на несколько порядков.

После облучения танталовой мишени протонами с энергией 860 Мэв на синхротронном ОИЯИ фракция тербия выделялась радиохимическим методом. Через 10 часов из этой фракции выделялся европий для большинства опытов - хроматографическим методом, а для двух серий измерений, в целях достижения наибольшей чистоты, - методом цементации амальгамой натрия. Время 10 часов было оптимальным для получения наибольшего количества  $\text{Eu}^{145}$  и наименьшего количества других изотопов европия.

Загрязнения этими изотопами должны быть незначительными, так как все цепочки  $Tb \rightarrow Gd \rightarrow Eu$  заканчиваются стабильными изотопами, кроме изотопов с массовыми числами  $A = 147, 148$  и  $149$ .  $Tb^{147}$  с периодом полураспада 25 млн должен был успеть распасться.  $Gd^{148}$  имеет период полураспада 130 лет,  $Gd^{149}$ , получающийся из того же  $Tb^{149}$  - 9,3 дня, и по этой причине  $Eu^{148}$  и  $Eu^{149}$  будет очень мало.

Для исследований нами применялся сцинтилляционный  $\gamma$ -спектрометр совпадений. В качестве детекторов использовались кристаллы  $NaJ(Tl)$  40 x 40 мм с фотоумножителями RCA 6810-A, включенными в обычную быстро-медленную схему совпадений с разрешающим временем  $2\tau = 10^{-8}$  сек, и 128 - каналный амплитудный анализатор типа У-5-2-R (венгерского производства). Детекторы расположены на установке для измерения угловых корреляций, которая была проверена на  $Co^{60}$ .

### 3. Экспериментальные результаты

Период был измерен по интегральному счету: он равняется  $6,0 \pm 0,2$  д. Прямой  $\gamma$ -спектр показан на рис. 1 и 2. Результаты обработки графическим разложением нескольких спектров из различных серий измерений видны из таблицы 1. Чистота препарата проверялась по одинаковому периоду полураспада всех частей спектра путем сравнения препарата, полученного обычной хроматографией, с очень чистым препаратом, полученным при помощи метода цементации амальгамой натрия. В качестве иллюстрации на рис. 3-6 показаны некоторые из спектров  $\gamma$ - $\gamma$  совпадений. В действительности наши результаты получались путем усреднения по нескольким сериям измерений. При обработке данных по совпадениям вводились поправки на неистинные совпадения из-за попадающего в окно одноканального дискриминатора комптоновского распределения от пиков высших энергий. В случае совпадений с пиками 111 и 191 кэВ была возможность исключения неистинных совпадений указанного типа. Измерения совпадений с 111 и 191 кэВ были сделаны с подходящими свинцовыми фильтрами и без них, и разность соответствующих спектров давала спектр истинных совпадений. Результаты измерений совпадений обобщены в таблицу 2.

В результате исследования установлены новые совпадения: 191 - 542, 893 кэВ; 1660 - 338 кэВ, установлено также, что нет совпадений 542 - 542, 653, 1660, 1880 кэВ; 111-653 кэВ; 2000 кэВ - со всеми известными переходами, включая и 191 кэВ. Очень слабые совпадения на пределе возможностей методики, такие, как совпадения 1660-338 кэВ, проверялись измерением и подсчетом случайных совпадений и измерением при разной интенсивности источника на двух расстояниях с различными экранами между счетчиками, расположенными под углом  $90^\circ$  относительно друг друга, для исключения возможности ложных совпадений.

Данные по совпадениям для более точного установления положения переходов в схеме уровней оденивались также количественным образом – как отношение числа совпадающих импульсов соответствующего пика к числу импульсов в окне одноканального анализатора.

Угловые корреляции между каскадами 883-653 кэв, 893-542 кэв, 893-(542)-191 кэв и 893-(542)-111 кэв измерялись одновременно на многоканальном анализаторе. Это давало возможность учитывать вклад комптоновского распределения от пиков высших энергий. Измерение делалось независимо от того, что некоторые из этих переходов не имеют общего промежуточного уровня с переходом 893 кэв. Делался ряд предварительных экспериментов при различных расстояниях кристалл-источник с экранами и без них. Из-за различных причин, связанных с необходимостью делать большие поправки в области малых энергий из-за большого комптоновского распределения и обратного рассеяния, точные результаты можно было получить только для корреляции 653-893 кэв и ориентировочные – для корреляции 542-893 кэв (из-за другого мешающего эффекта, связанного с наличием близости от 542 кэв аннигиляционных  $\gamma$ -квантов). Результаты для первой корреляции приведены в таблице 3 вместе с теоретическими значениями для нескольких вариантов, выбор которых обсуждается ниже. Для каскада 542-892 кэв получилось  $A_2 = -0,045$  без возможности оценки ошибки из-за упомянутого мешающего эффекта.

#### 4. Обсуждение результатов

На рис. 7 показан предлагаемый нами вариант схемы распада, который по своей основной структуре близок ко второму из вариантов, приведенных в <sup>/1/</sup>, но имеет существенные дополнения.<sup>x/</sup> Основным в нашем варианте является то, что нет уровней 1004 и 1140 кэв, существующих в первом из вариантов <sup>/1/</sup>, и есть уровни 1435 и 1547 кэв, существующие во втором. Переходы 542, 653 и 766 кэв имеют общий уровень с переходом 893 кэв, что противоречит некоторым существующим гипотезам, а переход 111 кэв ставится так, что образуется следующий каскад: 111-542-893 кэв. Переход 338 кэв фиксируется по совпадениям с 1660 кэв. Только в работе <sup>/2/</sup> сообщается о переходе и уровне 2191 кэв. Из наших данных уровень 2191 кэв считается недоказанным из-за отсутствия прямого перехода, а также из-за отсутствия переходов 191 и 520 кэв, идущих с него, по данным совпадений с переходами 1660 и 2000 кэв. На основании данных по совпадениям вводится новый уровень 1626 кэв, откуда идет  $\gamma$ -переход 191 кэв на уровень 1435 кэв. Этот же уровень можно связать с известным уровнем 2000 кэв через  $\gamma$ -переход 372 кэв.

<sup>x/</sup> Здесь следует заметить, что данные работы по точным измерениям энергий (как и данные <sup>/4/</sup>) не позволяют уточнить положение уровней схемы распада, так как они согласуются, в частности, с двумя известными вариантами <sup>/1/</sup>, что и отмечалось в свое время авторами той же работы (см. <sup>/6/</sup>).

Наиболее существенные изменения доказываются следующим образом. Переход 653 кэв не может идти с уровня 1660 кэв, так как он значительно сильнее, чем переход 111 кэв, через который он должен пройти, и из-за отсутствия совпадений с 111 кэв. Переход 542 кэв, или по крайней мере большая доля его интенсивности (если предположить двойной пик), по данным совпадений с 1660 кэв, не может идти на уровень 1660 кэв, как указывалось в <sup>1/2</sup>, и на уровень 1880 кэв из-за отсутствия совпадений 542 - 1880 кэв. По данным совпадений большая доля квантов 111 кэв совпадает с 542 кэв, но только небольшой процент квантов 542 кэв совпадает с 111 кэв. Поэтому нужно принять положение перехода 111 кэв таким, чтобы образовывался каскад 111-542-893 кэв. Только таким путем можно объяснить и результаты совпадений с 191 кэв.

При сравнении данных о корреляции 653-893 кэв с теорией использовались известные мультипольности для перехода 653-E1 и для перехода 893 кэв - E2 предполагалось, что они чистые и считалось, что второй переход соответствует разности спинов  $\pm 2$ . Были обсуждены возможные варианты спинов трех уровней. В таблице 3 приведены только те варианты, которые соответствуют принятому спину основного состояния 7/2 и первого возбужденного уровня 3/2, и из остальных вариантов - только один, для которого теоретическое значение  $A_2$  наиболее близко к экспериментальному. Таким образом, все варианты исключаются, кроме: 3/2 (1) 3/2 (2) 7/2, так что настоящий эксперимент подтверждает значения спинов уровней 0 кэв: 7/2 и 893 кэв: 3/2, и определяет спин уровня 1547 кэв: 3/2. Если принять во внимание известную четность основного уровня то спины и четности будут соответственно:  $7/2^-$ ,  $3/2^-$  и  $3/2^+$  для уровней 0 кэв, 893 кэв и 1547 кэв.

Если сравнить данные по корреляции 542-893 кэв с теорией (табл. 3) видно, что вероятным представляются спины  $1/2^+$  или  $5/2^+$  для уровня 1435 кэв. При этом мешающий ложный эффект идет в такую сторону, что  $1/2^+$  представляется более вероятным. Это не противоречило бы тому, что если спин основного состояния  $E_u^{145} 5/2^+$ , то распад на уровень 1435 кэв - дважды запрещенный. Действительно, из рис. 7 видно, что заполнение может быть в пределе ошибки  $\pm 0$ . Также в таком случае не вызовет затруднения отсутствие сильного перехода на основное состояние.

На уровень 1547 кэв получится  $lg ft = 7,3$  при разрешенном переходе, что говорит о некоторых особенностях. Также отметим, что переход 653 кэв типа E1, разряжающий тот же уровень, задержан примерно в 2000 раз относительно перехода 111 кэв типа M1, если за основу взять одночастичные значения.

В заключение авторы выражают благодарность К.Я. Грому и Ж.Т. Желеву за предложение метода получения  $E_u^{145}$  в чистом виде и за обсуждение результатов, Ж.Амбро и В.Ф. Кечкину за участие в измерениях и обработку результатов, Н.А. Устиновой за помощь при измерениях, И.Ю. Левенберг, Г. Музылю и В.В. Кузнецову за содействие при калибровке спектрометра.

## Л и т е р а т у р а

1. Б.С. Дзепелов, Л.К. Пекер, В.О. Сергеев. Схемы распада радиоактивных ядер. Изд. АН СССР, М-Л, 1963.
2. Ю.А. Александров, М.И. Никитин. Изв. АН СССР, сер. физ., 25, 1176 (1961);  
Ю.А. Александров, Б. Бемер. Изв. АН СССР, сер. физ., 26, 1159 (1962);  
Ю.А. Александров. Диссертация, ЛГУ, Ленинград, 1962.
3. A.M. Friedman, J. Milsted, O. Skulbreid, Phys. Rev., 129, 1752 (1963).
4. Н.М. Антоньева и др., ЖЭТФ, 40, 23 (1961).
5. И. Деметер, Ф. Мольнар, Е. Наджаков, А.Ф. Новгородов. Доклад на Совещании по ядерной спектроскопии, Дубна, июнь 1964 г. Препринт ОИЯИ, 1915, Дубна, 1964.
6. М.П. Авотина, Е.П. Григорьев, Ю.С. Егоров, Ж.Т. Желев, А.В. Золотанин, В.О. Сергеев, М.И. Совцов. Доклад на Совещании по ядерной спектроскопии. Дубна, июнь 1964 г. Препринт ОИЯИ, 1915, Дубна, 1964.
7. К.Я. Громов, Ж.Т. Желев, В.В. Кузнецов, Ма Хо Ик, Г. Музиоль. Доклад на Совещании по ядерной спектроскопии. Дубна, июнь 1964 г. Препринт ОИЯИ, 1915, Дубна, 1964.
8. Ж.Т. Желев. Диссертация ОИЯИ, Дубна, 1964.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 марта 1965 г.

Т а б л и ц а I  
Гамма-переходы в  $\text{Sm}^{145}$

№ п/п	$E_{\gamma}, \text{кЭВ}^{\text{x/}}$	Александров и др. /2/			
		Настоящая работа		Настоящая работа	
		$E_{\gamma}, \text{кЭВ}$	$I, \%$	$E_{\gamma}, \text{кЭВ}$	$I, \%$
1.	III	II0	- 25	II0	$3 \pm 1$
2.	I9I	I90	-	200	- I,5
3.	2I4/8/	-	-	-	-
4.	338/8/	-	-	} 350	- 0,6
5.	364/8/	-	-		
6.	372/8/	-	-		
7.	542	530	$7,3 \pm 2,7$	540	$10 \pm 2$
8.	653	655	$27 \pm 7$	660	$24 \pm 4$
9.	766	765	$10 \pm 3$	760	$3 \pm 1,5$
10.	893	895	100	900	100
11.	-	II40	-	-	-
12.	-	(I300)	-	-	-
13.	-	-	-	(I435)	< 4
14.	I660	I600	$15,6 \pm 3,8$	I665	$26 \pm 4$
15.	I880	I870	- I,5	I840	$4 \pm 2$
16.	2000	2000	$8 \pm 1$	I990	$15 \pm 2$
17.	-	2I90	- I	-	-
18.	-	2420	- I	2380	$2 \pm 1$
				анниг.5I0	$4,5 \pm 2$

<sup>x/</sup> По конверсионным данным.



Т а б л и ц а 2  
 Схема совпадений  $\gamma$ -переходов

$E_{\gamma_1}/E_{\gamma_2}$	III	I9I	338	542	653	766	893	I660	I880	2000
III	-	-	?	+	-	0	+	0	0	0
I9I	-	-	?	+	?	0	+	0	0	0
542	+	+	0	-	-	0	+	-	-	-
653	-	?	0	-	-	0	+	-	-	-
893	+	+	0	+	+	+	-	-	-	-
I660	-	-	+	-	-	-	-	0	0	0
2000	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0

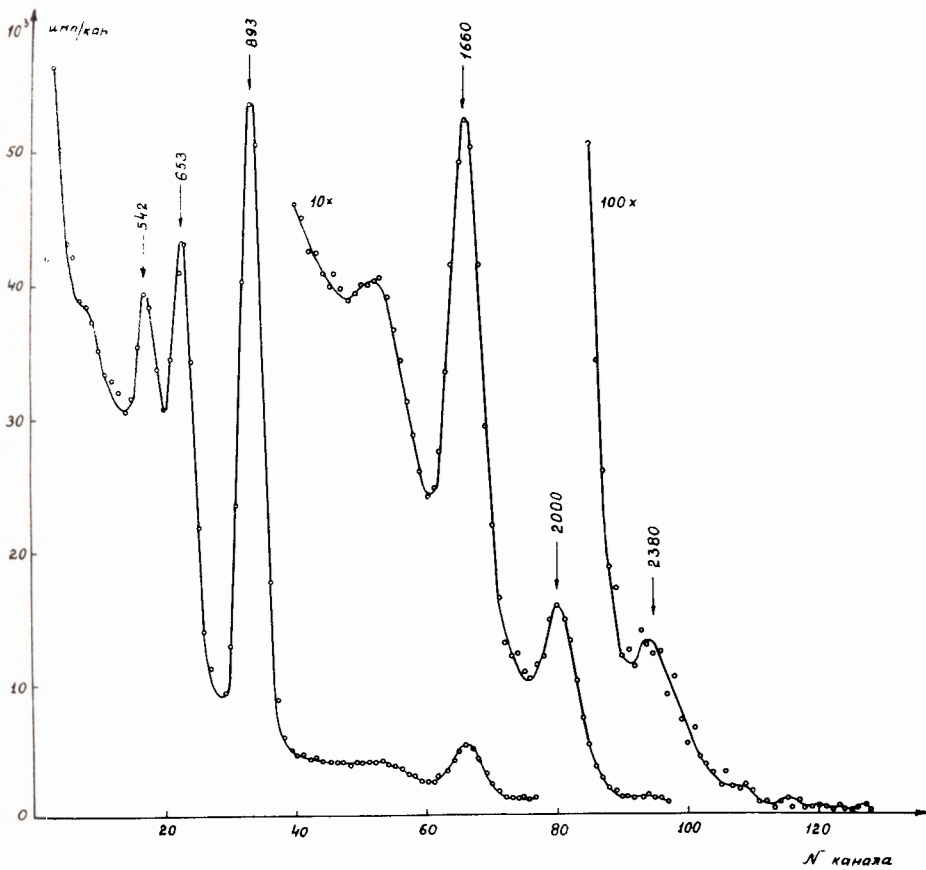
$E_{\gamma_1}$ - $\gamma$  - переход, который фиксирован в окне одноканального дискриминатора,

$E_{\gamma_2}$ - $\gamma$  - переходы в совпадении с  $\gamma$  - лучами  $E_{\gamma_1}$ ,

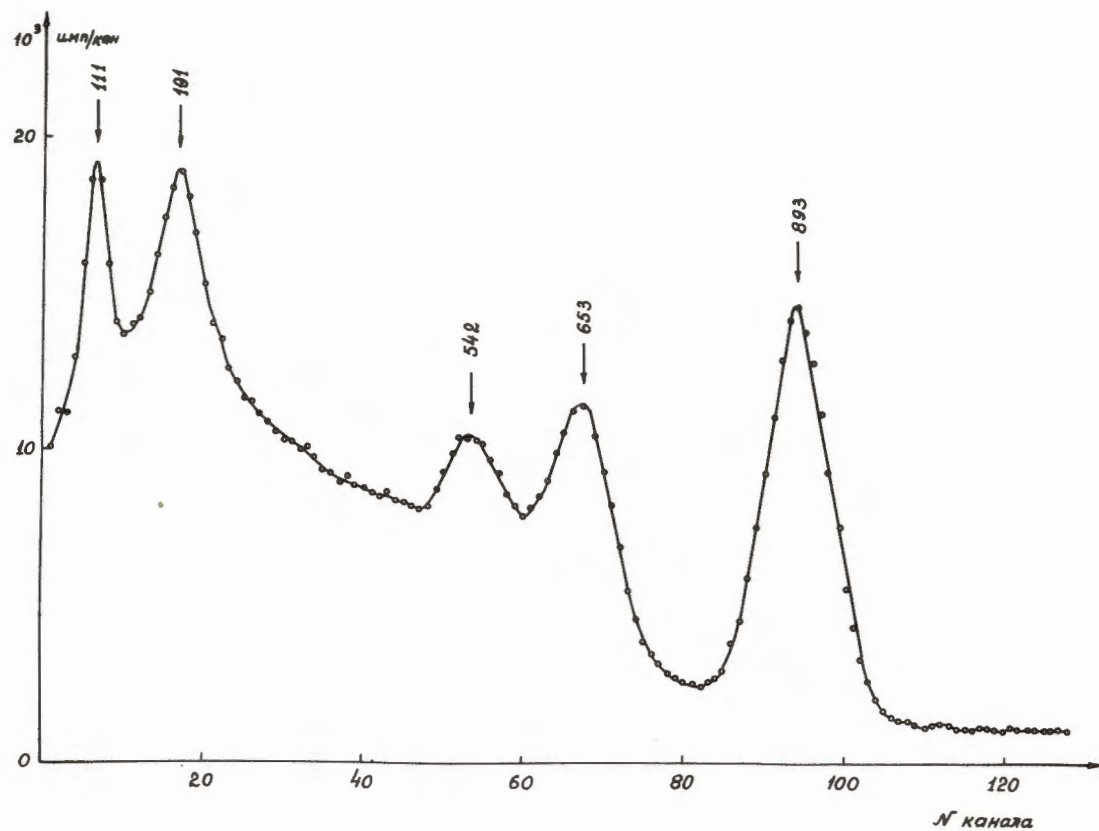
+	- наблюдается совпадение,
-	- нет совпадений или малый процент из-за разветвления,
0	- нет совпадений или нельзя было заметить из-за фона,
?	- сомнение.

Т а б л и ц а 3  
 $\gamma$ - $\gamma$  - угловая корреляция для каскада 653-893 кэВ

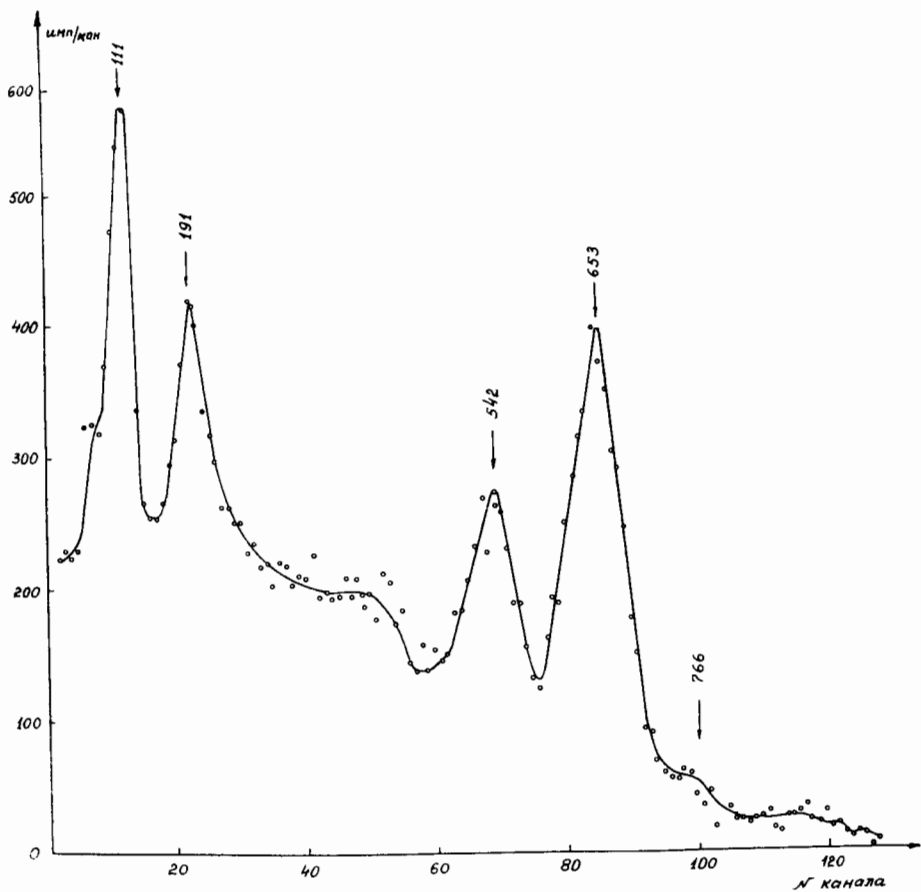
Э к с п е р и м е н т		Т е о р и я		
$A_2$	$A_4$		$A_2$	$A_4$
+0,045 $\pm$ 0,010	+0,025 $\pm$ 0,025	I/2(I)3/2(2)7/2	-0,0715	0
		3/2(I)3/2(2)7/2	+0,0571	0
		5/2(I)3/2(2)7/2	-0,0143	0
		5/2(I)5/2(2)9/2	+0,0816	0



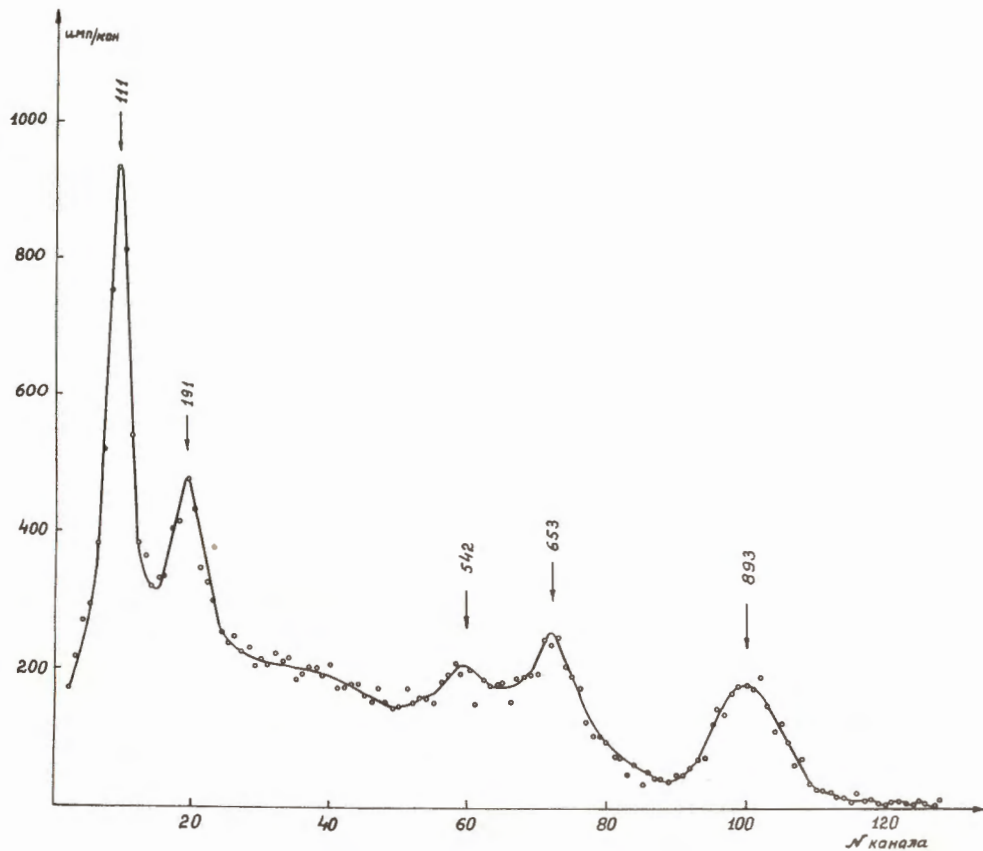
Р и с. 1.  $\gamma$ -спектр  $\text{Eu}^{145} \rightarrow \text{Sm}^{145}$ .



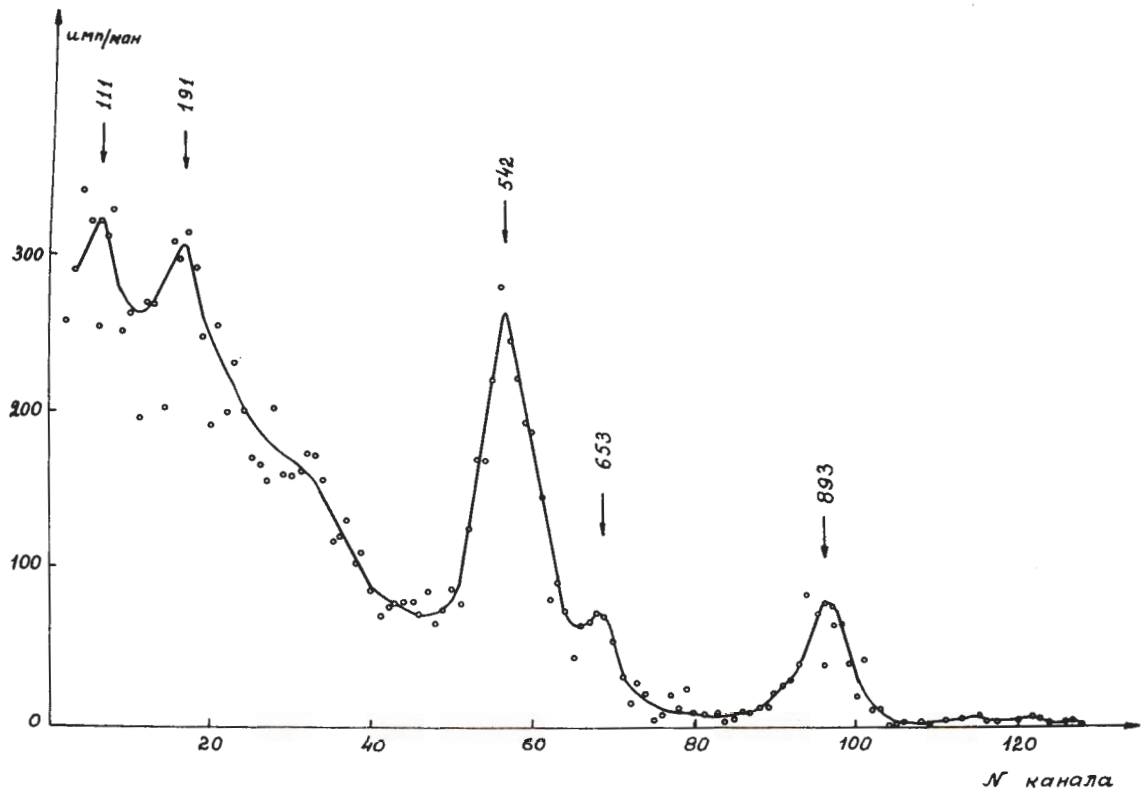
Р и с. 2.  $\alpha$ -спектр  $E^{146} \rightarrow \text{Sm}^{146}$  (низкоэнергетическая область).



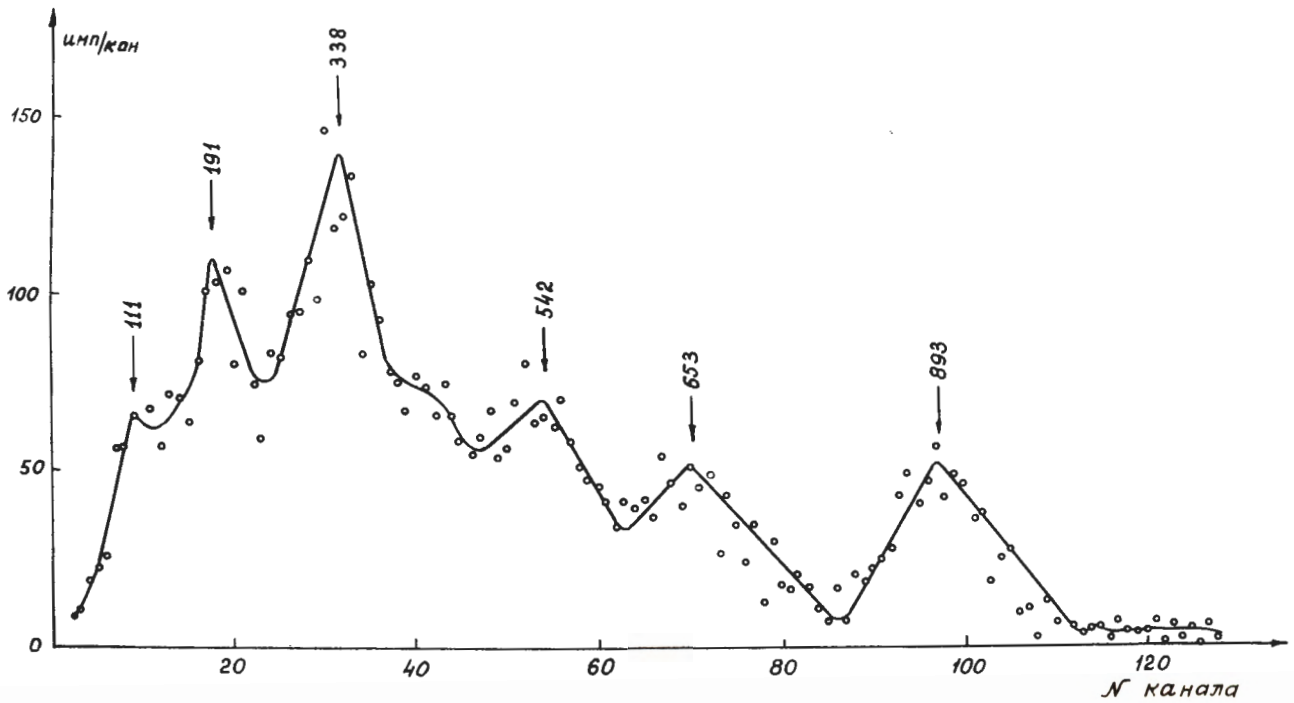
Р и с. 3. Спектр совпадений с  $\gamma$ -лучами 883 кэВ.



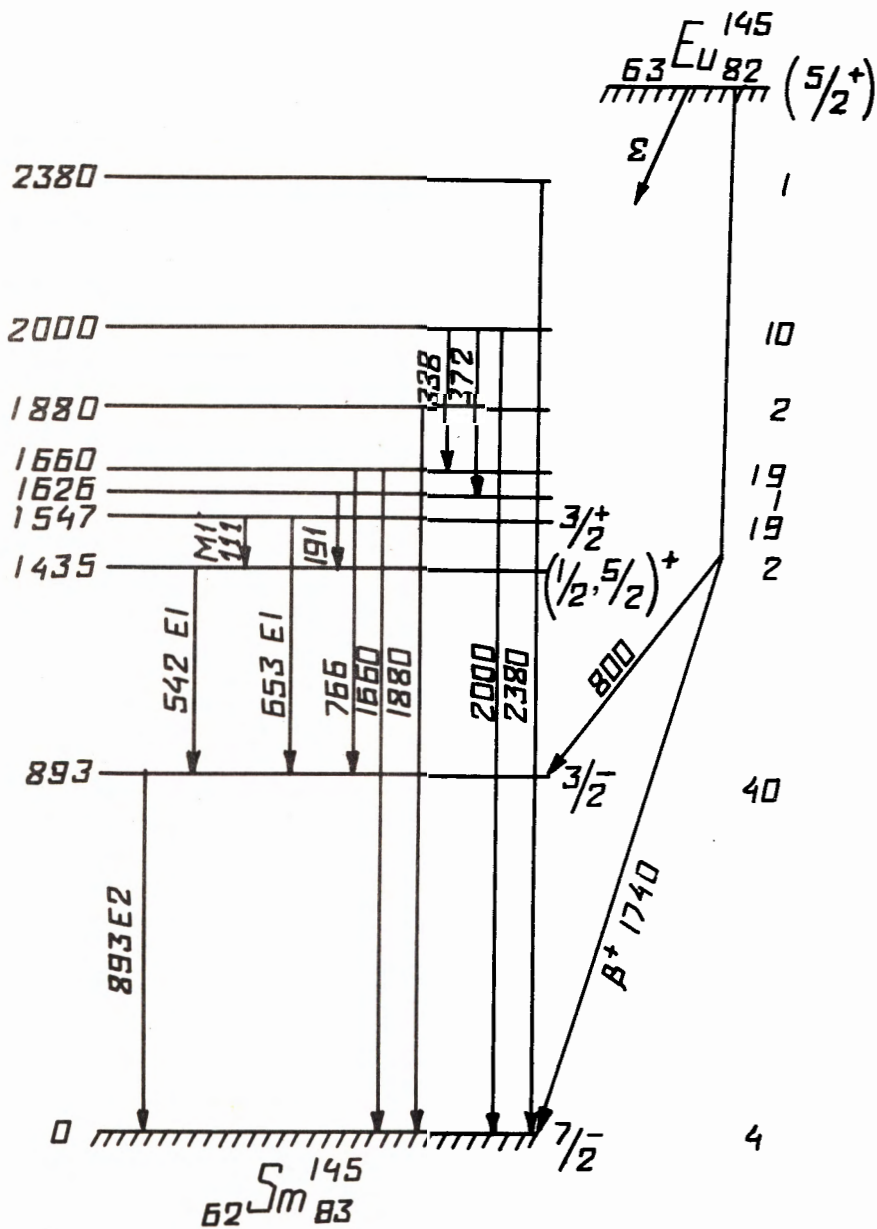
Р и с. 4. Спектр совпадений с  $\gamma$ -лучами 542 кэв.



Р и с. 5. Спектр совпадений с  $\gamma$ -лучами 111 кэв - разность спектров, полученных без фильтра и со свинцовым фильтром ( $\approx 0,3$  мм) на пути гамма-лучей, подающих сигнал в окно одноканального дискриминатора.



Р и с. 6. Спектр совпадений с  $\gamma$ -лучами 1660 кэв; только пик 338 кэв - уверенно не случайные совпадения.



Р и с. 7. Предлагаемый вариант схемы уровней  $Sm^{145}$ . Справа приводятся оценки заполнения уровней путем электронного захвата (в процентах на распад) на основании наших данных об интенсивностях (и оценки  $1/8$ ), 4% для заполнения основного уровня и 2% для позитронного распада.