

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



СЗ41.2Г  
А-465

28/2 74  
Р6-8154

4210/2-74

А.А.Александров, Г.-Ю.Байер, Ц.Вылов, П.Галан,  
М.Гонусек, В.М.Горожанкин, К.Я.Громов, Р.Ион-Михай,  
В.Г.Калинников, В.В.Кузнецов, Н.З.Марупов,  
Т.М.Муминов, М.Яхим

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИЗОТОПА  $^{156}\text{Er}$

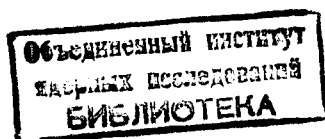
**1974**

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P6-8154

А.А.Александров, Г.-Ю.Байер, Ц.Вылов, П.Галан,  
М.Гонусек, В.М.Горожанкин, К.Я.Громов, Р.Ион-Михай,  
В.Г.Калинников, В.В.Кузнецов, Н.З.Марупов,  
Т.М.Муминов, М.Яхим

ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИЗОТОПА  $^{156}\text{Er}$



Александров А.А., Байер Г.-Ю., Вылов Ц., Галан П.,  
Гонусек М., Горожанкин В.М., Громов К.Я., Ион-Михай Р.,  
Калинников В.Г., Кузнецов В.В., Марупов Н.З., Муминов Т.М.,  
Яхим М.

Р6-8154

Об идентификации изотопа  $^{156}\text{Er}$

Идентифицирован изотоп  $^{156}\text{Er}$  и МЗ-изомер  $^{156}\text{Ho}$ . Обнаружено новое явление в  $\beta$ -распаде: сильное ускорение однократно запрещенных переходов типа  $0^+ \rightarrow 1^-$ .

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна, 1974

Указания на существование изотопа  $^{156}\text{Er}$  были получены в <sup>1,2/</sup>. Мы пытались обнаружить его присутствие в эрбиевой фракции - смеси нейтронодефицитных изотопов Er, радиохимически выделенной из облученной в течение 1-2 час протонами / $E_p = 660 \text{ МэВ}$ / танталовой мишени. Прослеживалось во времени поведение активности дочернего  $^{156}\text{Ho}$  /по  $\beta^+$ -распаду <sup>1/</sup> и по электронам внутренней конверсии <sup>2/</sup>/. Был сделан вывод о том, что в эрбиевом препарате действительно содержится  $^{156}\text{Er}$ , и оценен его период полураспада  $T_{1/2} \leq 12 \text{ мин}$ .

Независимо сведения о  $^{156}\text{Er}$  были сообщены в <sup>3/</sup>. Изотоп  $^{156}\text{Er}$  получался в реакции  $^{165}\text{Ho} (p, 10n)$ . Продукты реакции без химического выделения быстро разделялись на электромагнитном масс-сепараторе. При изучении гамма-излучения изобары  $A = 156$  с помощью сцинтилляционного спектрометра были замечены только гамма-лучи  $^{156}\text{Ho}$ . С учетом времени всех процедур оценен период полураспада  $^{156}\text{Er}$ :  $T_{1/2} < 4 \text{ мин}$ .

Близкое значение периода  $^{156}\text{Er}$   $T_{1/2} = 4,5 - 5 \text{ мин}$  указывается в работе <sup>4/</sup>, в которой  $^{156}\text{Er}$  получался в реакции  $^{149}\text{Sm} (^{12}\text{C}, 5n)$ . Однако в этом случае трудно было исключить вклад от реакции  $(^{12}\text{C}, 6n)$ , ведущей к образованию 5-минутного  $^{155}\text{Er}$ .

Таким образом, выяснилось, что необходимы достоверные данные о периоде полураспада  $^{156}\text{Er}$ . Кроме того, отсутствуют сведения об излучении  $^{156}\text{Er}$ .

## 1. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

**Приготовление источников.** Первоначально в наших опытах источники  $^{156}\text{Er}$  получались при облучении на внутреннем пучке протонов /ток 2,3 мкА/ синхроциклотрона ОИЯИ танталовых мишеней весом 2 г. Из облученной мишени хроматографически выделялся эрбиевый препарат, который затем подвергался разделению на изотопы с помощью электромагнитного масс-сепаратора. Источник с поверхностной ионизацией /5/ обеспечивал высокую эффективность ионизации эрбия. Время облучения мишени - 0,5 час, химической обработки - 1 час, электромагнитной сепарации - 0,5 час.

В дальнейшем для получения источников  $^{156}\text{Er}$  нами использовалась установка ЯСНАПП /6/. Танталовая мишень в виде суспензии  $\text{Ta}_2\text{O}_5/0,1\text{M HCl}$  облучалась 15 мин на выведенном пучке протонов синхроциклотрона / $E_p = 660 \text{ МэВ}$ , интенсивность  $5 \cdot 10^{11}$  протон/сек/. Последующее радиохимическое выделение эрбиевого препарата занимало 15 мин. Электромагнитная сепарация изотопов длилась 5 мин. Фольга с коллектора сепаратора с массой  $A = 156$  поступала для измерений через 25 мин после конца облучения.

Для убыстрения получения изобары  $A = 156$  использовалась методика "горячего" тантала /7/. Мишень из металлического тантала толщиной 50 мкм и весом 0,5 г облучалась 15-20 мин также на выведенном пучке протонов. Облученная мишень сразу, без химической обработки, помещалась в ионный источник с поверхностной ионизацией и в течение 5 мин происходила электромагнитная сепарация изобар редкоземельных элементов. От конца облучения до начала измерений спектров выделенных препаратов проходило не более 7 мин.

В отдельных случаях в фокальной плоскости коллектора масс-сепаратора размещалась стеклянная пластинка с нанесенным слоем хлористого аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). На пластинку высаживалась активность изобары  $A = 156$ . Эта активность смывалась каплей /0,02 мл/ 0,1M HCl. Раствор наносился на колонку 2x60 мм катионита Aminex A5 (Biorad). Элюирование производилось в течение 5 мин

раствором  $\alpha$ -оксизобутирата аммония (0,10M, pH = 4,8). Препараты эрбия и гольмия вымывались в объеме 1-2 капель и быстро /за 30 сек/ выпаривались на алюминиевой фольге. Вся процедура приготовления препарата занимала около 8 мин.

Во всех случаях электромагнитной сепарации наблюдалась высокая чистота препаратов. Примесь соседней, большей на 1 массовую единицу, изобары по активности была < 1%, а примесь изобар с меньшими массовыми числами практически не наблюдалась.

**Аппаратура.** Спектры гамма-лучей полученных препаратов эрбия и гольмия исследовались с помощью спектрометров с Ge(Li)-детекторами различных объемов от 0,3 до 40 см<sup>3</sup>/8/. Разрешение рентгеновских спектрометров с Ge(Li)-детекторами малого объема составляло 700 эВ ( $^{57}\text{Co}$ ), а спектрометров с большими детекторами - 2,5 кэВ ( $^{60}\text{Co}$ ). Для определения энергий и интенсивностей гамма-лучей спектрометры были проградуированы по стандартным калибровочным источникам.

Спектры электронов внутренней конверсии измерялись на безжелезном бета-спектрометре с тороидальным магнитным полем СТ-2 /9/. Прибор был настроен на разрешение -0,9% при трансмиссии - 15%.

Поиски  $\alpha$ -распада проводились с помощью Si(Au)-детектора /площадь 140 мм<sup>2</sup>, энергетическое разрешение 16 кэВ для линии с  $E_\alpha \sim 5 \text{ МэВ}$ / и многоканальной системы TRIDAC-C /10/.

Установка для измерений времени жизни ядерных уровней была собрана на базе двух сцинтилляционных спектрометров и время-амплитудного преобразователя. В ней использовались пластические сцинтилляторы размерами 5x10 мм и 35x25 мм, фотоумножители XP-1020 и блоки электроники, разработанные в ЛЯП ОИЯИ: интегральные дискриминаторы, схема совпадений, конвертор /11/. Регистрация совпадений производилась многоканальным анализатором АИ-4096.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

В спектре гамма-лучей изобары  $A=156$ , полученной при разделении эрбиевого препарата - продукта облучения тантала на внутреннем пучке протонов, присутствуют, в основном, гамма-лучи  $^{156}\text{Ho}$ . Лишь с помощью рентгеновского спектрометра удалось обнаружить мягкие гамма-лучи с  $E_\gamma = 30$  и  $35$  кэВ, а также  $K_x$ -излучение в ядре  $\text{Ho}$ . Интенсивность указанных гамма-лучей спадала с периодом  $T_{1/2} \sim 20$  мин. В то же время фотопики  $^{156}\text{Ho}$  с  $E_\gamma = 138, 266$  и  $366$  кэВ вначале нарастали, а затем спадали /с  $T_{1/2} \sim 57$  мин/ /рис. 1г/.

В последующих опытах исследовалась полученная по методике "горячего" тантала изобара  $A = 156$  и был уточнен период убывания интенсивности гамма-лучей  $30$  и  $35$  кэВ, а также  $K_x$ -излучения  $\text{Ho}$ :  $T_{1/2} = 19,5 \pm 1,0$  мин /рис. 1б/.

Для окончательной идентификации обнаруженной 20-минутной активности был проведен специальный опыт. Хроматографически разделялась на эрбий и гольмий изобара  $A = 156$ , полученная по методике "горячего" тантала. На рис. 2 приведена хроматограмма разделения. На рис. 3 представлены спектры гамма-лучей полученных таким образом препаратов. Опыт однозначно показал, что 20-минутная активность принадлежит  $^{156}\text{Er}$ . К его распаду мы отнесли несколько гамма-переходов /табл. 1/.

Энергия бета-распада  $^{156}\text{Er}$  по систематике /12/ составляет  $Q_\beta = 1,7$  МэВ, поэтому количество позитронов мало, а доля  $K$ -захвата в электронном захвате составляет  $(K/\epsilon)_{\text{теор}} \sim 0,80$ . Так как в  $\gamma$ -спектре  $^{156}\text{Er}$  наблюдаются мягкие переходы, не испытывающие  $K$ -конверсии, то  $K_x$ -излучение обязано только  $K$ -захвату. Сопоставляя интенсивности гамма-лучей  $30$  и  $35$  кэВ с интенсивностью  $K_x(\text{Ho})$  в предположении различных типов мультипольностей, мы приходим к выводу, что условие  $I_{\text{полн.}/30 \text{ кэВ}} / I_{\text{полн.}/35 \text{ кэВ}} < I_{K_x(\text{Ho})} / \omega_K$  выполняется только при мультипольности  $E1$ -перехода  $35$  кэВ и  $M1$ -или  $E1$ -перехода  $30$  кэВ. При большей мультипольности доля  $\gamma$ -лу-

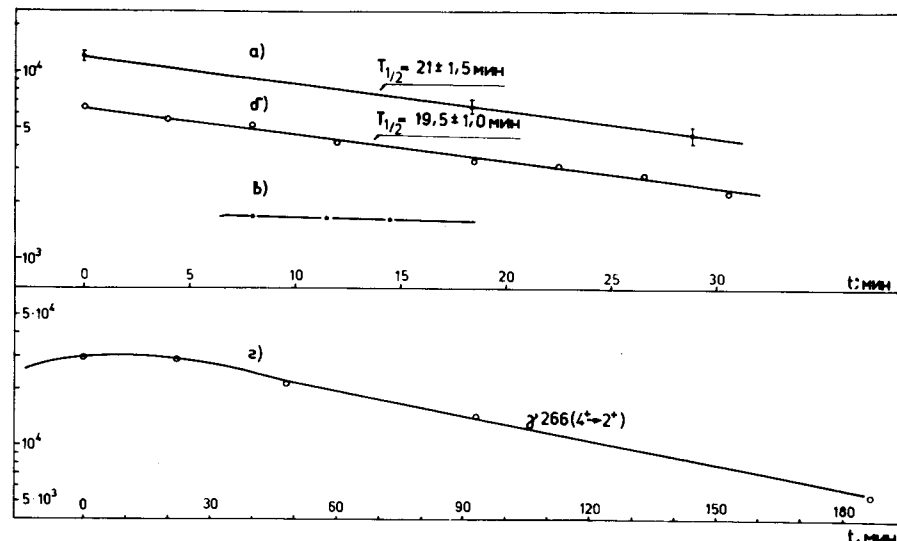


Рис. 1. а/ - период убывания интенсивности  $L$ -линий перехода  $52$  кэВ  $^{156}\text{Er}$ ; б/ - период полураспада  $^{156}\text{Er}$   $T_{1/2} = 19,5 \pm 1,0$  мин, установленный по убыванию интенсивности гамма-лучей  $35$  кэВ. В случае а, б момент времени  $t=0$  соответствует началу измерений спектров; в/ - изменение во времени интенсивности  $^{156}\text{Ho}$ , выделенного в момент времени  $t=0$  от материнского  $^{156}\text{Er}$ . Активность  $^{156}\text{Ho}$  прослеживалась по гамма-лучам  $137,8$  кэВ; г/ - изменение во времени интенсивности  $^{156}\text{Ho}$ , накапливающегося из распада  $^{156}\text{Er}$ . Активность  $^{156}\text{Ho}$  прослеживалась по  $K_x$ -излучению и гамма-лучам  $137, 266$  и  $366$  кэВ. Момент времени  $t=0$  соответствует началу измерений и сдвинут на  $\sim 40$  мин от конца химического выделения эрбия.

чей  $30$  и  $35$  кэВ должна быть значительно меньше по отношению к  $K_x$ -лучам.

Измерения спектров конверсионных электронов  $^{156}\text{Er}$  на тороидальном бета-спектрометре позволили однозначно определить мультипольности гамма-переходов  $30$  и  $35$  кэВ /см. рис. 4 и табл. 1/, а также выявить не наблюдавшийся в спектре гамма-лучей  $M3$ -переход с энергией  $52$  кэВ. Интенсивность конверсионных элект-

Таблица I.  
Сведения о  $\gamma$ -переходах  $^{156}\text{Er}$  и находящихся с ним в равновесии  $^{156}\text{Ho}$ .

$E_\gamma$ (кэВ)	$L_\gamma$	Принад- лежность	$I_\gamma$ (отн.)	Оболоч- ка	$I_\gamma$ (отн.)	Соотношения интенсивностей $\gamma$ .		Мультипольность.
						$I_{\text{экс.}}$	$I_{\text{теор.}}$	
29.8±0.1	L <sub>1</sub>	Dy } 780±80	17.0±1.7	L	4.9±1.1	3.3±0.3	теор. (M) I:0.093; 0.014	M <sub>1</sub> +(0.11±0.02)E2
		Ho						
35.2±0.1	K <sub>1</sub>	Er	≈100	L	4.7±0.4	1.0±0.15	теор. (E2) I:1.33; 1.71	E1
K <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	Dy	1145±80	-	-	-	K <sub>1/2</sub> : K <sub>3/2</sub> =(930±60):(175±10):(40±4)	-
52.2±0.1	L <sub>1</sub>	Er	-	L	14.5±1.4	3.7±0.4	теор. (E2) I:0.56; 0.79	-
133.6±0.4	K <sub>1</sub>	Er	4.4±1.4	-	-	-	K <sub>1/2</sub> : K <sub>3/2</sub> =(290±20):(60±5):(13±2)	-
137.2±0.1	L <sub>1</sub>	Ho	530±20	-	-	-	K <sub>1/2</sub> : K <sub>3/2</sub> =(290±20):(60±5):(13±2)	-
266.3±0.1	L <sub>1</sub>	Ho	560±25	-	-	-	K <sub>1/2</sub> : K <sub>3/2</sub> =(290±20):(60±5):(13±2)	-
366.2±0.2	L <sub>1</sub>	Ho	115±7	-	-	-	K <sub>1/2</sub> : K <sub>3/2</sub> =(290±20):(60±5):(13±2)	-

\* Теоретические значения коэффициентов конверсии взяты из таблиц /13/.

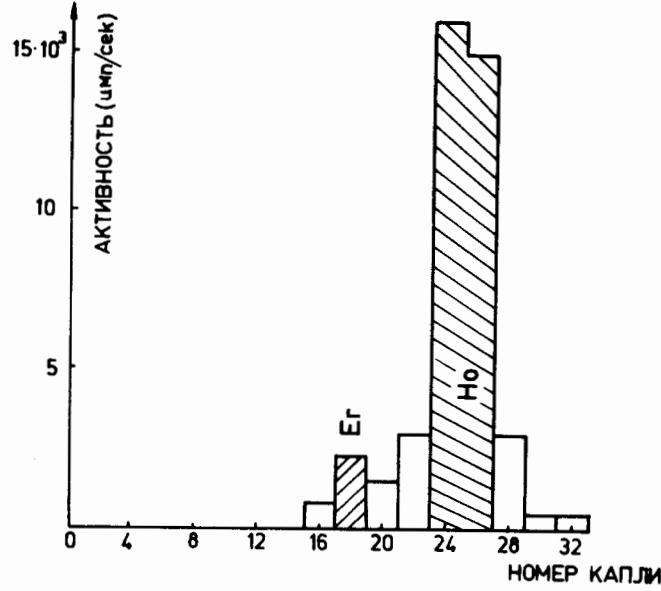


Рис. 2. Хроматограмма разделения эрбия и гольмия из изобар  $A = 156$ .

ронов перехода 52 кэВ убывала с периодом  $21,0 \pm 1,5$  мин /рис. 1а/.

### 3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

На основании баланса энергий и интенсивностей  $\gamma$ -переходов мы можем предположить предварительный вариант схемы распада  $^{156}\text{Er} \rightarrow ^{156}\text{Ho}$  /рис. 5/. Знание типов мультипольностей  $\gamma$ -переходов, а также величин  $\lg ft$   $\beta$ -переходов позволяет однозначно установить спины и четности возбужденных уровней  $^{156}\text{Ho}$ , если известны квантовые характеристики основных состояний  $^{156}\text{Er}$  и  $^{156}\text{Ho}$ . Ядро  $^{156}\text{Er}$  - четно-четное, поэтому его основному состоянию приписываем  $I^\pi = 0^+$ . В работе /14/

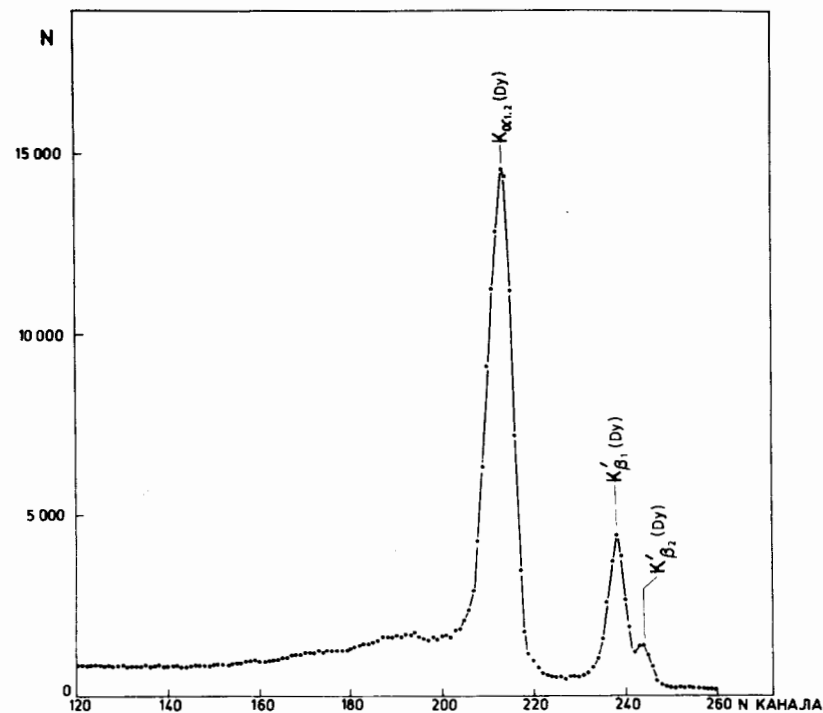
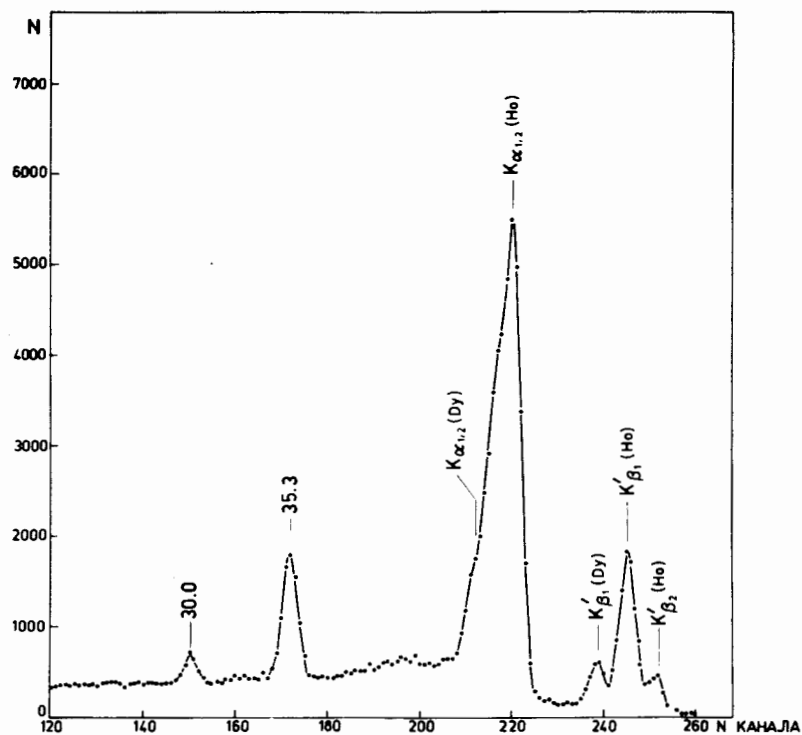


Рис. 3. а/ Спектр мягкого гамма-излучения изобар эрбия и гольмия с  $A=156$ , б/ спектр мягкого гамма-излучения  $^{156}\text{Ho}$ , химически отделенного от  $^{156}\text{Er}$ .

наблюдали полосу основного состояния  $^{156}\text{Er}$ . Из энергетической полосы можно прийти к выводу о том, что ядро  $^{156}\text{Er}$  в основном состоянии если и деформировано, то очень слабо.

Сложнее приписать спин и четность основному состоянию  $^{156}\text{No}_{89}$ . Авторы ранее выполненной в нашей лабораторий работы /15/ на основании изучения схемы распада  $^{156}\text{No} /56 \text{ мин}/ \rightarrow ^{156}\text{Dy}$  приписали  $^{156}\text{No} I^{\pi} > 4^+$ . Однако позднее Шеперс /16/ предложил приписать состоянию  $^{156}\text{No}$  с  $T_{1/2} \sim 1 \text{ час}$   $I^{\pi} = 9^+$ , а в работе /17/ методом атомного пучка измерен спин 55-минутного  $^{156}\text{No}$ , равный  $I = 1$ .

Из наших опытов выяснилось, что в "цепочке" распада  $^{156}\text{Er} \xrightarrow{19,5 \text{ мин}} ^{156}\text{No} \xrightarrow{55 \text{ мин}} ^{156}\text{Dy}$  заметно возбуждаются уровни с высоким спином ( $I^{\pi} \leq 6^+$ ) ротационной полосы основного состояния  $^{156}\text{Dy}$ :  $6^+ \xrightarrow{\gamma_{366}} 4^+ \xrightarrow{\gamma_{266}} 2^+ \xrightarrow{\gamma_{138}} 0^+$ , но не наблюдается переход  $445,2 \text{ кэВ}$ ,  $8^+ \rightarrow 6^+$ . Также наблюдались  $\gamma$ -переходы с других высокоспиновых состояний  $^{156}\text{Dy}$ . Поэтому как наиболее предпочтительные характеристики основного состояния  $^{156}\text{No}$  мы выбираем  $I^{\pi} = 5^+$ . Ядра с  $N \geq 89$  являются сильнодеформированными, поэтому для описания  $^{156}\text{No}$  мы воспользуемся схемой Нильссона.

Первым возбужденным уровнем  $^{156}\text{No}$  мы рассматриваем состояние  $52 \text{ кэВ}$  с  $I^{\pi} = 2^+$ , которое высвечивает-

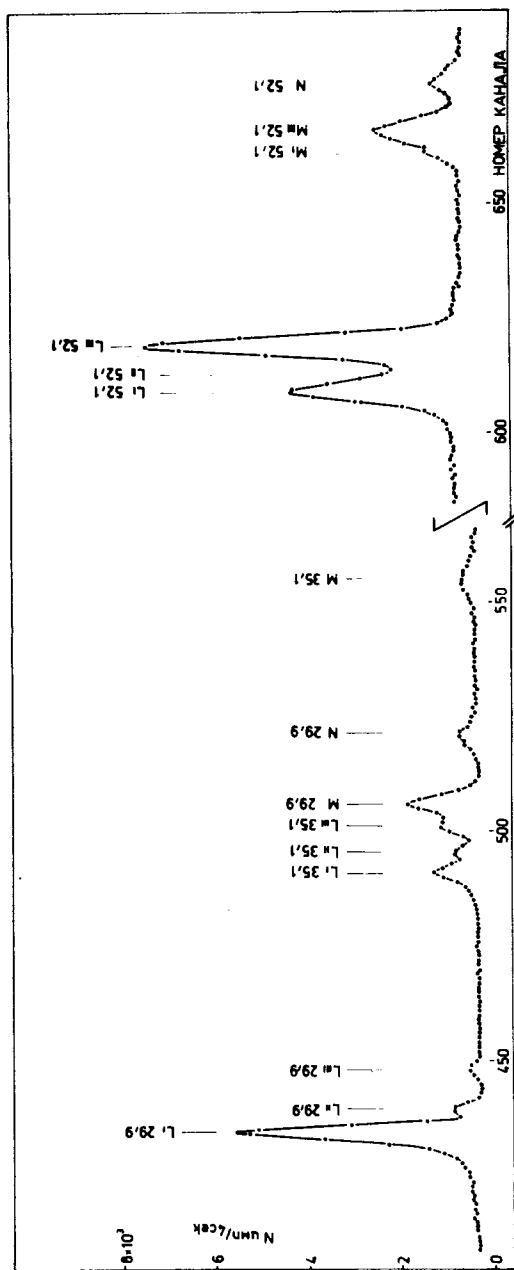


Рис. 4. Участки экспериментального спектра электронов конверсии  $^{156}\text{Er}$  с L-, M- и N-линиями переходов 30; 35 и 52 кэВ.

ся M3-изомерным переходом. Был сделан опыт с целью определения периода полураспада данного изомера. Изотоп  $^{156}\text{Er}$  включался в комплекс  $[\text{Er DTPA}]^{2-}$ . Дочерний продукт  $^{156}\text{Ho}$  стабилизируется в виде незакомплексованного катиона  $\text{Ho}^{3+}$  и отделяется с помощью адсорбции на катионите /18/. Через несколько минут измерялся спектр гамма-лучей выделенного препарата  $\text{Ho}$ . В спектре были видны  $\gamma$ -лучи  $^{156}\text{Ho}$  с энергиями 138 и 266 кэВ, а также  $K_{\alpha}$ - и  $K_{\beta}$ -излучение Dy. Гамма-лучей  $^{156}\text{Er}$  и  $K_{\alpha}$ -излучения  $\text{Ho}$  не наблюдалось. Интенсивность  $\gamma$ -излучения  $^{156}\text{Ho}$  в спектре спадала с  $T_{1/2} \sim$

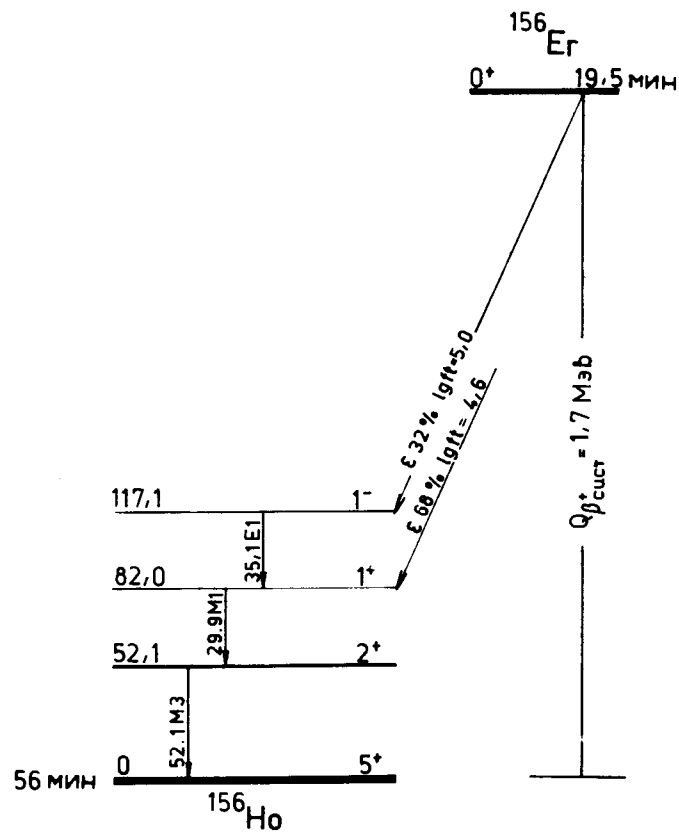


Рис. 5. Схема распада  $^{156}\text{Er} \rightarrow ^{156}\text{Ho}$ .



- 55 мин, нарастание интенсивности не было замечено /рис. 1в/. Можно оценить отсюда, что период полураспада МЗ-изомера - не более нескольких минут, что приводит к фактору торможения МЗ-перехода  $F_T(M3) < 100$ . Фактор торможения типичен для одночастичных переходов. Поэтому мы приписываем основному уровню и состоянию  $52 \text{ кэВ } ^{156}\text{Ho}$  конфигурацию  $p523^+ + n521^+$  и  $p523^+ - n521^+$ , соответственно.

Два других уровня 82 и 117 кэВ введены по соображениям баланса энергий и интенсивностей. Мультипольности  $\gamma$ -переходов и вероятности заселения этих уровней электронным захватом позволяют приписать уровням характеристики  $I^\pi = 1^+$  и  $1^-$ , соответственно.

Для установления нильссоновских конфигураций состояний 82 и 117 кэВ следует привлечь данные о временах жизни уровней. Опыты по измерению времен жизни проводили на вышеописанной установке. Радиоактивность изобары  $A=156$  внедрялась на масс-сепараторе в пластический сцинтиллятор размерами  $5 \times 10 \text{ мм}$  и в этом канале отбирались импульсы электронов с энергиями в диапазоне 10-70 кэВ. Во втором канале отбирались импульсы X- и  $\gamma$ -излучения с энергией, большей 20 кэВ. Учитывая низкую эффективность регистрации X- и  $\gamma$ -лучей в малом сцинтилляторе, можно заключить, что в этом канале основная интенсивность счета обусловлена L-, M-конверсионными электронами перехода 30 кэВ электронами Оже. Во втором канале регистрируется в основном рентгеновское излучение.

Измеренная в этих условиях временная кривая приведена на рис. 6. Задержанную часть на кривой совпадений можно объяснить совпадениями электронов L-, M-30 с рентгеновским излучением, возникающим при  $\epsilon$ -захвате  $^{156}\text{Er}$ . Кривая задержанных совпадений прослеживалась на период полураспада, который оказался равным  $24 \pm 5 \text{ мин}$ . Обработка правого склона временного спектра задержанных совпадений дает значение  $T_{1/2} = 1,46 \pm 0,15 \text{ нсек}$ .

В ряде соседних с  $^{156}\text{Ho}$  нечетно-нечетных ядер обнаружено состояние  $I^+(p523^+ - n523^-)$ , заселяемое быстрым бета-переходом ( $\lg ft = 4,8 - 5,0$ ). В этой области

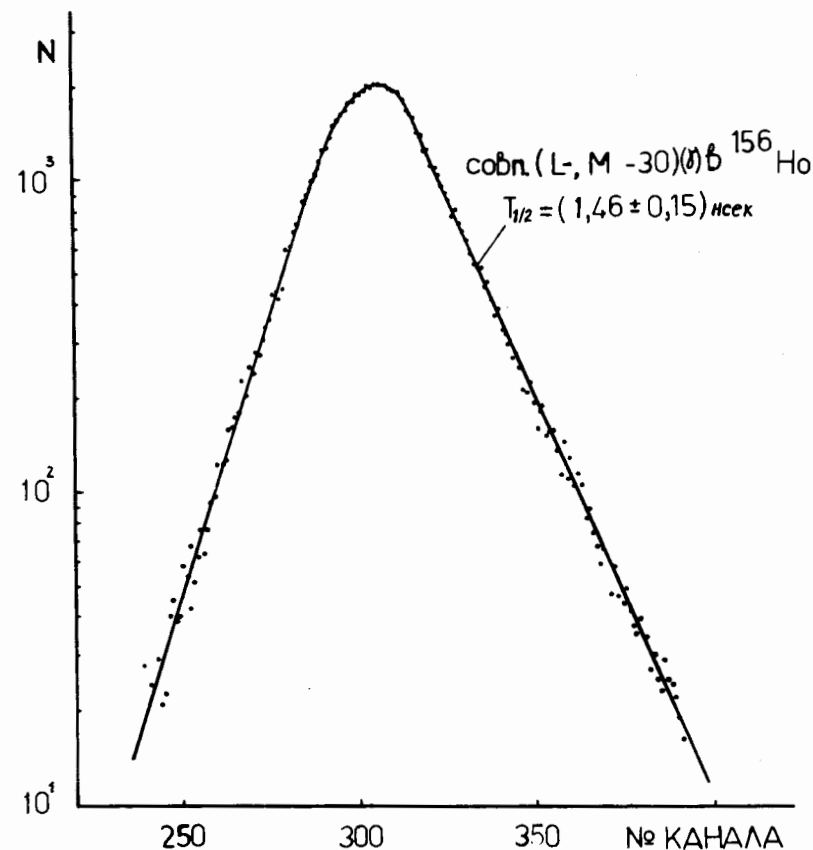


Рис. 6. Временной спектр задержанных  $e-\gamma$ -совпадений.

деформированных ядер только превращение  $p523^+ \rightarrow n523^-$  приводит к разрешенному, незадержанному (au) -бета-переходу. По своим свойствам состояние 82 кэВ  $^{156}\text{Ho}$  может быть идентифицировано как конфигурация  $I^+(p523^+ - n523^-)$  / см. табл. 2/. Из таблицы видно, что свойства M1-компоненты перехода 30 кэВ удовлетворительно описываются в рамках модели Нильссона. Вероятность же E2-компоненты перехода между нейтронными состоя-

Таблица 2.

факторы запрета по Мюшковскому и Нильссону перехода 29,9 кэВ, высвечивающего состояние 82 кэВ  $^{156}_{67}\text{Ho}_{89}$

Начальное состояние $\{\Omega_{p,n}^{\pi} [N n_z \Delta]\}_{I^{\pi}}$	Конечное состояние $\{\Omega_{p,n}^{\pi} [N n_z \Delta]\}_{I^{\pi}}$	Мульти- поль- ность	$B^{(F)}_{\text{экср}}(\text{eL})$	$F_M$	$F_N$
$\{ \frac{1}{2}^{-} [523] \frac{1}{2}^{-} [523] \}_{1^{+}}$	$\{ \frac{1}{2}^{-} [523] \frac{3}{2}^{-} [524] \}_{2^{+}}$	M1 E2	$6,1 \cdot 10^{-2}$ $0,11$	22 $1,3 \cdot 10^{-2}$	0,38 $2,4 \cdot 10^{-5}$

$\chi$  /  $B(M1)$  и  $B(E2)$  даны в единицах  $(\frac{e\hbar}{2mc})^2$  и  $e^2$  барн, соответственно.

ниями  $5/2^{-} [523] \rightarrow 3/2^{-} [521]$  с  $\Delta K=1$  сильно ускорена по сравнению с оценкой по Нильссону ( $F_N=2,4 \cdot 10^{-5}$ ). Систематика свойств E2-переходов с  $\Delta K=1$  в нечетных деформированных ядрах /19/ показывает, что они сильно ускорены. Это ускорение E2-переходов можно объяснить Кориолисовым смешиванием состояний, в результате которого возрастает коллективный вклад в вероятность E2-перехода. Учет кориолисова взаимодействия между нейтронными состояниями  $5/2^{-} [523]$  и  $3/2^{-} [521]$  в рассмотренном нами случае  $^{156}\text{Ho}$  дает фактор запрета  $F_N \sim 1$ .

Ускорение E2-компоненты перехода 30 кэВ ( $F_M=1,3 \cdot 10^{-2}$  / можно объяснить феноменологической картиной, а именно: в состоянии 52 кэВ,  $2^{+}$  заметна доля волновой функции ротационного состояния  $2^{+}$ -полосы на уровне  $1^{+} \{ 7/2^{-} [523] \ 5/2^{-} [523] \}$ .

Представляет особый интерес уровень 117 кэВ,  $1^{-}$ . Без измерения его времени жизни сейчас трудно приписать этому состоянию нильссоновскую конфигурацию. Известная в соседних нечетно-нечетных ядрах конфигурация  $1^{-} \{ p411, -n521 \}$  не может быть сопоставлена с уровнем 117 кэВ  $^{156}\text{Ho}$ , так как в этом случае переход 35 кэВ был бы двухчастичным, а одночастичный переход 65 кэВ,  $1^{-} \rightarrow 2^{+}$  не наблюдается.

Обращает на себя внимание низкое значение  $lg ft$  бета-перехода на уровень 117 кэВ. Бета-переход относится к однократно запрещенным, неуникальным. Помимо случая распада  $^{156}\text{Er} (0^{+}) \rightarrow ^{156}\text{Ho} /117 \text{ кэВ}, 1^{-}/$  такая же ситуация, как показано в нашей работе /20/, имеет место при распаде  $^{158}\text{Er} (0^{+}) \rightarrow ^{158}\text{Ho} /138 \text{ кэВ}, 1^{-}/$   $lg ft = 5,5$ .

Величина  $lg ft$  может измениться, если неправильно взята энергия и /или/ вероятность бета-перехода. Значение  $Q_{\beta} = 1,7 \text{ МэВ}$  для  $^{156}\text{Er}$  нами было взято из систематики /12/. Из той же работы следует, что  $^{156}\text{Er}$  может испытывать  $\alpha$ -распад с  $Q_{\alpha} = 4,0 \text{ МэВ}$ . Мы пытались обнаружить  $\alpha$ -распад  $^{156}\text{Er}$ . При экспозиции около 1 час источника  $^{156}\text{Er}$  в спектре, снятом Si (Au) - детектором, были выявлены линии конверсионных электронов  $^{156}\text{Ho}$  до  $E_e < 2,0 \text{ МэВ}$ , но в области энергий выше 3 МэВ не было видно  $\alpha$ - и конверсионных линий. Верхний предел интенсивности  $\alpha$ -линий, установленный из сравнения с интенсивностью линии K266, составляет  $5 \cdot 10^{-5} \%$  распадов  $^{156}\text{Er}$ , т.е. парциальный период  $^{156}\text{Er}$  по отношению к  $\alpha$ -распаду  $> 76 \text{ лет}$ . Этот предел позволяет по закону Гейгера-Неттола оценить кинетическую энергию  $\alpha$ -частиц  $^{156}\text{Er}$ :  $E_{\alpha} < 3,6 \text{ МэВ}$ . Данное значение согласуется с величиной  $Q_{\alpha} = 3,4 \text{ МэВ}$  для  $^{156}\text{Er}$ , вытекающей из систематики энергий  $\alpha$ -распада соседних изотопов Er, Dy, Gd /рис. 7/. Таким образом, энергия  $Q_{\beta}$  ( $^{156}\text{Er}$ ) не превышает значения 1,7 МэВ /12/ или может быть несколько меньшей.

Что касается вероятности бета-перехода  $^{156}\text{Er} (0^{+}) \rightarrow ^{156}\text{Ho} /1^{-}, 117 \text{ кэВ}/$ , то нужны дополнительные опыты, которые показали бы отсутствие низкоэнергетического  $\gamma$ -перехода типа E1, чья интенсивность могла бы сбалансировать интенсивность  $\gamma$ -перехода 35 кэВ. С другой стороны, следует поискать  $\gamma$ -переходы, очень близкие по энергии к переходам 29,9; 35,1; 52,1 кэВ или в области KX-излучения. Наличие таких переходов может привести к пересмотру предлагаемого варианта схемы распада  $^{156}\text{Er}$ . Ввиду необычности свойств бета-перехода  $^{156}\text{Er}$  типа  $0^{+} \rightarrow 1^{-}$  мы предполагаем провести в ближайшее время эксперименты по изучению электронов конверсии в очень низкой области энергий, а также

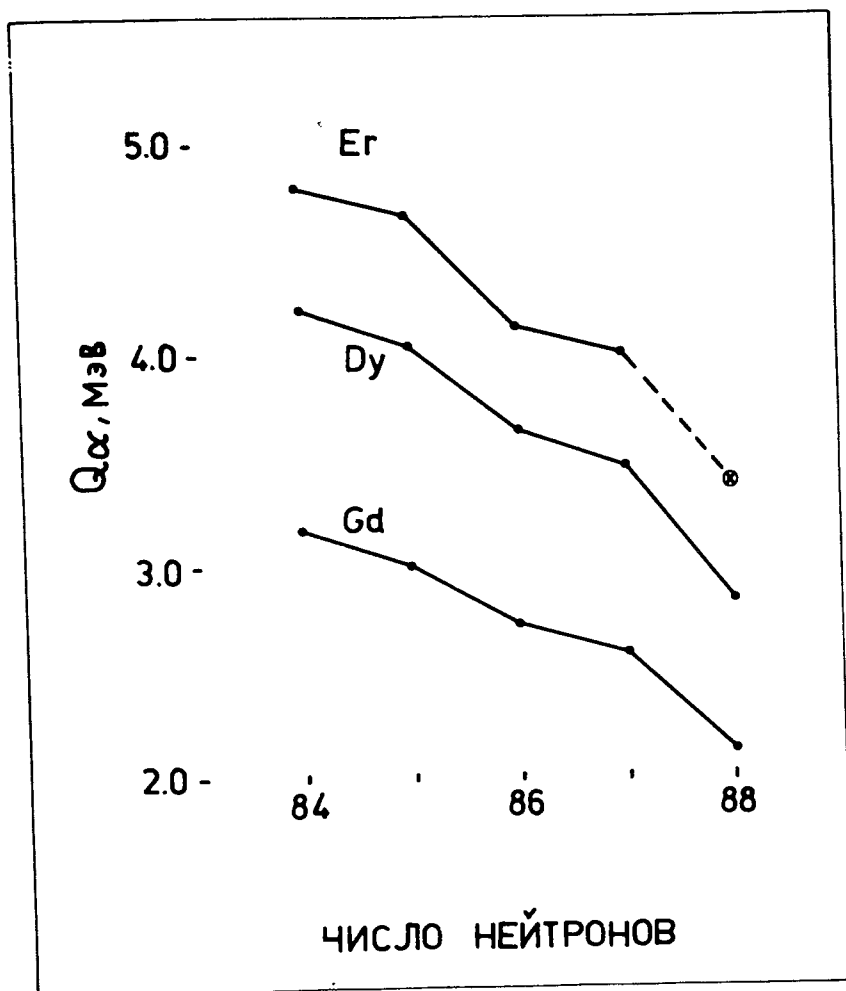


Рис. 7. Зависимость энергии  $\alpha$ -распада ( $Q_{\alpha}$ ) от числа нейтронов в соседних с  $^{156}\text{Er}$  изотопах Gd, Dy и Er. Знаком  $\times$  помечена ожидаемая для  $^{156}\text{Er}$  величина  $Q_{\alpha}$ .

на бета-спектрометрах высокого разрешения. Кроме того, мы планируем постановку опытов, в которых будем изучать  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадения,  $K_{\alpha}$ - $\gamma$ -совпадения и "самосовпадения" ( $\gamma_{30} \gamma_{30}$ ) или ( $\gamma_{35} \gamma_{35}$ ). Также будут проведены измерения времен жизни уровней 82 и 117 кэВ с лучшей селективностью электронов L30 и L35, чем в данной работе.

В заключение авторы приносят глубокую благодарность Н.А.Лебедеву, До Ким Тюнгу, И.И.Громовой за приготовление высококачественных радиоактивных источников.

#### Литература

1. Ж.Т.Желев, В.Г.Калинников, А.В.Кудряцева, Н.А.Лебедев, С.П.Макаров, Г.Музиоль, Э.Херрманн. Препринт ОИЯИ, Р-2196, Дубна, 1965; ЯФ 2, 956 /1965/.
2. К.Я.Громов, Ф.Н.Мухтасимов. Препринт ОИЯИ, Р-2275, Дубна, 1965.
3. P.Lagarde, J.Treherne, A.Gison, J.Valentin. Jour. de Physique, 27, 116 (1966).
4. К.Я.Громов, К.Зубер, Я.Зубер, В.В.Кузнецов, А.В.Потемпа, А.Тохтогбаяр. Препринт ОИЯИ, Дб-5783, Дубна, 1971, стр. 132; программа и тезисы докладов XXII совещ. по ядерн. спектр. и структ. атомн. ядра. ч. 1, стр. 119, "Наука", Ленинград, 1972.
5. G.Beyer, E.Herrmann, A.Piotrowski, V.Raiko, H.Tyroff. Nucl. Instr. & Meth., 96, 437 (1971).
6. Г.Музиоль, В.И.Райко, Х.Тыррофф. Препринт ОИЯИ, Рб-4487, Дубна, 1969.
7. А.Лятушински, К.Зубер, Я.Зубер, А.Потемпа, В.Жук. Препринт ОИЯИ, б-7469, Дубна, 1973.
8. Ц.Вылов, И.Н.Егошин, М.Г.Маринов, Т.М.Муминов, Б.П.Осипенко, В.Г.Сандуковский, Д.Срнка, Я.Юрковски. Сообщения ОИЯИ, Р13-6759, Дубна, 1972.
9. М.Гасиор, К.Я.Громов, В.В.Кузнецов, Г.И.Лизурей, А.В.Потемпа, Е.Дец, Е.Еорецки, Е.Стажевски, М.Яницки. Препринт ОИЯИ, Дб-7094, Дубна, 1973, стр. 167.
10. В.С.Александров, Ц.Вылов, Т.М.Муминов, Б.П.Осипенко, С.И.Орманджиев. Сообщения ОИЯИ, 13-730б, Дубна, 1973.

11. В.Ф.Борейко, Ю.Г.Будяшов, Ю.М.Валуев, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов, Б.С.Краснобородов. Препринт ОИЯИ, 13-6396, Дубна, 1972.
12. A.H. Warstra, N.B. Gove. *Nucl. Data*, 9, NO. 4-5 (1971).
13. R.S. Hager, E.C. Seltzer. *Nucl. Data.*, A4. 1 (1968).
14. F.S. Stephens, D. Ward, J.O. Newton. *Proc. Inter. Conf. on Nucl. Struct.*, Tokyo, p. 160, 1967.  
H. Beuscher, W.F. Davidson, R.M. Lieder, G. Mayer-Böricke. *H. Jhle. Z. Phys.*, 263, 201 (1973).
15. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, У.К.Назаров, С.С.Сабиров, Я.Стычень. Прогр. и тезисы докладов. XIX ежегодн. совещ. по ядерн. спектр. и структ. атомн. ядра, ч. 1, стр. 114, "Наука", Ленинград, 1969.
16. H. Schepers. Report BMW, K70-30, Bonn, 1970.
17. C. Ekstrom, T. Noreland, H. Oismats and B. Wannberg. *Nucl. Phys.*, A135, 289 (1969).
18. G.J. Beyer, X. Grosse-Ruyken, W.A. Khalkin. *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 31, 1867 (1969).
19. K.E.G. Lobner and S.G. Malmskog. *Nucl. Phys.*, 80, 505 (1966).
20. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, В.Г.Калинников, Я.Липтак, У.К.Назаров, Я.Урбанец. ЯФ, 8, 633 /1968/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 июля 1974 года.