

A-139

Изв. АН СССР сер. физ.  
1968г., т.32, №5, с.781-785

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6 - 3660



А.А.Абдуразаков, В.Г.Калинников, Ж.Т.Желев,  
У.К.Назаров, Я.Урбанец

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СХЕМЕ РАСПАДА <sup>159</sup>Er

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

1968

Р6 - 3660

А.А.Абдуразаков, В.Г.Калинников, Ж.Т.Желев,  
У.К.Назаров, Я.Урбанец

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СХЕМЕ РАСПАДА  $^{159}\text{Er}$

Направлено в Известия АН СССР  
(сер. физ.)

## В в е д е н и е

Изотоп  $^{189}\text{Er}$  был открыт в Дубне <sup>/1/</sup> среди продуктов реакции глубокого расщепления тантала протонами с энергией 660 Мэв. Идентификация этого изотопа была сделана на основе наблюдения в конверсионном спектре изотопов эрбиевой фракции линий дочернего  $^{189}\text{Ho}$ . К распаду  $^{189}\text{Er}$  был отнесен переход с энергией 205,9 кэв. По оценкам скорости убывания интенсивности конверсионной линии К-205,9 кэв для периода полураспада  $^{189}\text{Er}$  было указано значение  $T_{1/2} = 50 \pm 15$  мин <sup>/2/</sup>. По отношению интенсивностей линий внутренней конверсии на L - подболочках там же было установлено, что переход 205,9 кэв типа E3 и, таким образом, показано, что в  $^{189}\text{Ho}$  возбуждается изомерный уровень с возможными квантовыми характеристиками  $1/2^+ / 411/$ .

Гамма-излучение и конверсионные электроны  $^{189}\text{Er}$  изучались также в работе <sup>/3-5/</sup>. По измерениям Легарда и др. <sup>/3/</sup> период полураспада  $^{189}\text{Er}$  равен  $T_{1/2} = (36 \pm 1)$  мин.

Что касается изомерного состояния 205,9 кэв в  $^{189}\text{Ho}$ , то в работе Боргринна и др. <sup>/6/</sup> был измерен его период полураспада  $T_{1/2} = 6,9 \pm 0,3$  сек и подтвержден тип мультипольности перехода 205,9 кэв (E3).

### Условия опыта. Экспериментальные результаты

В работе исследовались  $\gamma$  - излучение и электроны внутренней конверсии  $^{189}\text{Er}$ . Изотоп  $^{189}\text{Er}$  изучался наряду с другими нейтронодефицитными изотопами при облучении Ta - мишени быстрыми протонами ( $E_p = 660$  Мэв). Время облучения составляло  $\approx 2$  час. Сразу после конца облучения начиналась химическая обработка мишени. Хроматографически выделенная фракция Er использовалась для приготовления источников для  $\gamma$  - спектрометра,  $\beta$  - спектрографов и спектрометра. Методы приготовления источников для этих приборов описаны ранее <sup>/7-9/</sup>.

Гамма-излучение, сопровождающее распад  $^{159}\text{Er}$ , изучалось при помощи  $\gamma$ -спектрометра с полупроводниковым  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором коаксиального типа с чувствительным объемом  $5\text{ см}^3$ . Разрешение спектрометра было  $\approx 5\text{ кэВ}$ . Амплитудный анализ производился 2048-канальным анализатором.

Спектр электронов внутренней конверсии изотопов эрбиевой фракции исследовался с помощью трех  $\beta$ -спектрографов с постоянным однородным магнитным полем. Разрешающая способность  $\beta$ -спектрографов в наших опытах была  $0,05\text{--}0,07\%$ . Энергетическая калибровка спектрографов производилась по конверсионным линиям  $^{160}\text{Er} + ^{160}\text{Ho}$ , энергии которых известны с точностью  $0,02\%$ <sup>/10-12/</sup>, что позволяло определять энергии конверсионных электронов с точностью лучше  $0,05\%$ . Интенсивность конверсионных линий определялась методом фотометрирования, описанным в работе <sup>/13/</sup>.

Фракция эрбия содержит ряд радиоактивных изотопов  $\text{Er}$ , а также дочерние гольмиевые изотопы. Это сильно затрудняло исследование излучения  $^{159}\text{Er}$ .

Приписание  $\gamma$ -лучей и конверсионных электронов распаду  $^{159}\text{Er}$  было сделано на основании:

- а) оценки периодов полураспада линий;
- б) определения заряда ядра, в котором происходит  $\gamma$ -переход, по разности в энергиях K- и L-линий;
- в) исключения из рассмотрения линий, принадлежащих другим изотопам  $\text{Er}$  и дочерним изотопам  $\text{Ho}$  по данным работ <sup>/3,3-9,14/</sup>.

Полученные сведения о  $\gamma$ -лучах и конверсионных электронах  $^{159}\text{Er}$  приведены в таблице I. Там же приведены интенсивности в процентах на распад для каждого перехода.

Для определения интенсивностей в процентах на распад для каждого перехода мы проанализировали спектры  $\gamma$ -лучей и конверсионных электронов эрбиевой фракции, где  $^{159}\text{Er}$  и  $^{160}\text{Ho}$  находились в равновесии. Такой анализ позволил выразить полную интенсивность перехода  $h\nu = 253,0\text{ кэВ}$ , возникающего при распаде  $^{160}\text{Ho}$  в единицах таблицы I. Из данных работы <sup>/9/</sup> известно, что переход  $h\nu = 253,0\text{ кэВ}$  составляет  $15\%$  от полного числа распадов ядра  $^{160}\text{Ho}$ . Используя эту величину, мы определили интенсивности в процентах на распад для каждого  $\gamma$ -перехода в ядре  $^{159}\text{Ho}$ .

Данные о спектре конверсионных электронов и  $\gamma$ -лучей позволяют определять мультипольности некоторых  $\gamma$ -переходов.



Переход 205,8 кэв. Вывод о мультипольности данного перехода можно сделать, сравнив экспериментальные отношения интенсивностей  $K$ ,  $-L_I$ ,  $-L_{II}$  и  $L_{III}$  - линий с теоретическими для разных мультипольностей <sup>/15/</sup>. Из таблицы 2 видно, что переход 205,8 кэв имеет мультипольность E3, что полностью согласуется с данными работ <sup>/2,6/</sup>.

Переход 624,4 кэв. Для этого перехода нами определено отношение интенсивностей  $K$ ,  $-L_I$  и  $L_{II}$  - линий. Такое определение не позволяет однозначно сделать вывод о мультипольности перехода  $h\nu = 624,4$  кэв. Из таблицы 2 следует, что возможная мультипольность перехода E1, M1 или M2. Поэтому в настоящей работе мы определили его мультипольность по отношению интенсивности  $K$  - конверсионной линии к интенсивности  $\gamma$  -лучей. Данные, необходимые для вывода мультипольности перехода  $h\nu = 624,4$  кэв, представлены также в таблице 2. Видно, что переход имеет мультипольность M1.

Переход 649,5 кэв. Этот переход впервые наблюдается нами. По интенсивности он не уступает наиболее интенсивному переходу 624,4 кэв. Этот переход почти точно совпадает по энергии с переходом 649,5 кэв <sup>181</sup>Eg. Поэтому нам не удалось измерить интенсивность  $K$  - конверсионной линии этого перехода. На основе оценки верхнего предела интенсивности  $K$ -линии перехода 649,5 кэв, можно заключить, что вероятная мультипольность этого перехода E1.

Переход 505,5 кэв. Нами экспериментально измерена интенсивность  $K$ -линий этого перехода. Определить интенсивность  $\gamma$  -лучей не удалось, так как он находился на "хвосте" аннигиляционного пика. Мы смогли оценить верхний предел интенсивности  $\gamma$  -лучей. В таблице 2 приводится оценочная величина  $\alpha_k$ . Можно только отметить, что для этого перехода исключается мультипольность E1.

Для определения периода полураспада <sup>189</sup>Eg нами на  $\beta$ -спектрометре с двойной двукратной фокусировкой пучка на угол  $\pi\sqrt{2}$  была измерена скорость убывания интенсивности  $K$ -линии перехода 624,4 кэв. Линия снималась семь раз в течение 3 часов. Измеренный период полураспада оказался равным  $T_{1/2} = 37 \pm 2$  мин, что находится в хорошем согласии с данными работ <sup>/3/</sup>.

Большая неоднозначность в определении периода полураспада <sup>189</sup>Eg в работах <sup>/1,2/</sup>, по-видимому, связана с наложением на линию  $K$ -205,8 кэв "хвоста" линии изомерного перехода 211,2 кэв другого изотопа <sup>181</sup>Eg, вклад которого очень существенен и приводит к большой ошибке.

Полученные экспериментальные результаты позволяют дополнить схему распада  $^{180}\text{Er}$ . Предлагаемая нами схема возбужденных уровней  $^{180}\text{Ho}$  изображена на рис. 1.

Наиболее интенсивным является переход с  $h\nu = 205,8$  кэВ, поэтому в работе <sup>/2/</sup> было сделано предположение, что рассматриваемый переход непосредственно идет в основное состояние  $^{180}\text{Ho}$ . Приписание квантовых характеристик уровню 205,8 кэВ зависит от мультипольности этого перехода и от спина и четности основного состояния  $^{180}\text{Ho}$ .

В работе <sup>/8/</sup> было показано, что основное состояние  $^{180}\text{Ho}$  характеризуется нильссоновским состоянием  $7/2^-/523/$ . Поэтому из мультипольности перехода 205,8 кэВ  $E3$  уровню 205,8 кэВ можно приписать характеристики  $1/2^+$  и интерпретировать его как нильссоновское состояние  $1/2^+/411/$ . Переходом  $1/2^+/411/ \rightarrow 7/2^-/523/$  осуществляется  $E3$  - изомерия в ядре  $^{180}\text{Ho}$ . Такая изомерия наблюдается и в других ядрах гольмия  $^{181}\text{Ho}$  - уровень 211,2 кэВ ( $T_{1/2} = 6,1 \pm 0,3$  сек);  $^{188}\text{Ho}$  - уровень 309,6 кэВ ( $T_{1/2} = 1,1 \pm 0,3$  сек).

Возбуждение изомерного уровня  $1/2^+/411/$  позволяет предположить, что основное состояние  $^{180}\text{Er}$  имеет структуру, аналогичную ядру  $^{161}\text{Er}$ , для которого в работе <sup>/14/</sup> приписаны характеристики  $3/2^-/521/$ . По схеме Нильссона для 91-го нейтрона  $^{180}_{68}\text{Er}_{91}$  также возможно состояние  $3/2^-/521/$ . Однако в настоящее время нет опытных данных, которые подтвердили бы правильность приписания этих квантовых характеристик  $^{180}\text{Er}$ .

Если основное состояние  $^{180}\text{Er}$  есть  $3/2^-/521/$ , то в ядре  $^{180}\text{Ho}$  должен возбудиться сильно заселяющийся одночастичный уровень  $5/2^-/532/$ . При распаде  $^{181}\text{Er}$  уровень такого типа заселяется в 75% случаев и имеет энергию 826,4 кэВ.

Из таблицы 1 следует, что наиболее интенсивным переходом является  $h\nu = 624,4$  кэВ. Кроме того, из таблицы 2 видно, что мультипольность перехода 624,4 кэВ -  $M1$ , то есть переход осуществляется без изменения четности. Квантовые характеристики уровня могут быть  $5/2^-$ ,  $7/2^-$  или  $9/2^-$ . Если спин и четность состояния 624,4 кэВ  $7/2^-$  или  $9/2^-$ , то для возбуждения этого уровня характеристики основного состояния  $^{180}\text{Er}$  должны быть  $5/2^-$ ,  $7/2^-$  или  $9/2^-$ , но схема Нильссона для 91-го нейтрона исключает состояния  $7/2^-$  и  $9/2^-$ , так как эти уровни слишком удалены для 91-го нейтрона.

Состояние  $5/2^-/523/$  для 91-го нейтрона не исключается, однако, если допустить, что основное состояние  $^{189}\text{Er} - 5/2^+523/$ , то распад должен осуществляться, главным образом,  $\beta^-$ -распадом в основное состояние, ввиду того, что  $\beta^-$ -переход типа  $p \ 5/2^-/523/ \rightarrow n \ 7/2^-/523/$  относится к типу разрешенных незадержанных по асимптотическим квантовым числам, что наблюдается в других ядрах эрбия ( $^{189}\text{Er}$  и  $^{186}\text{Er}$ ). Такой разрешенный  $\beta^-$ -переход в основное состояние  $^{189}\text{Ho}$  из анализа интенсивности  $\gamma$ -лучей не наблюдается.

Таким образом, остается одна возможность, что основное состояние  $^{189}\text{Er} - 3/2^-/521/$  и уровень 624,4 кэВ являются нильссоновским состоянием  $5/2^-/532/$ .

Для уровня 624,4 кэВ  $5/2^-/532/$  мы подсчитали  $\lg ft$  в предположении, что все заселение уровня обусловлено электронным захватом на этот уровень  $\lg ft=5,6$ . При подсчете вероятности электронного захвата мы приняли за разность масс  $^{189}\text{Er} \rightarrow ^{189}\text{Ho} - 3150 \text{ кэВ} /16/$ . Полученная величина согласуется с обычно встречающимися величинами в других ядрах, например, при распаде  $^{181}\text{Er}$  вероятность захвата на уровень  $5/2^-/532/$  равна  $\lg ft = 5,3 \pm 0,3$ .

Сравнительно большая интенсивность ( $\approx 26\%$ ) перехода 649,5 кэВ позволяет его также связать с основным состоянием  $^{189}\text{Ho}$  и вводить уровень с энергией 649,5 кэВ  $^{189}\text{Ho}$ . Из таблицы 2 следует, что возможная мультипольность его E1. Это позволяет приписать уровню 649,5 кэВ характеристики  $5/2^+$  (более высокие спины при характеристике основного состояния  $^{189}\text{Er} \ 3/2^-/521/$  исключаются). Этот уровень можно интерпретировать как одночастичный уровень  $5/2^+/413/$ . Возбуждение этого уровня при распаде  $^{189}\text{Er} \ (3/2^-/521/)$  весьма вероятно, так как  $\beta^-$ -переход на этот уровень относится к первому порядку запрещения.

В работе <sup>14/</sup> в схеме возбужденных уровней  $^{181}\text{Ho}$  предполагается  $\gamma$ -вибрационное состояние  $3/2^-$ . Оно расположено несколько ниже состояния  $5/2^-/532/$  и имеет энергию 592,0 кэВ. Так как ядра  $^{189}\text{Er}$  и  $^{181}\text{Er}$  описываются одинаковыми квантовыми характеристиками, то, по-видимому, уровень  $3/2^-$  также должен наблюдаться и при распаде  $^{189}\text{Er}$ . Поэтому предположительно введенный нами уровень с энергией 505,5 кэВ мы рассматриваем как  $\gamma$ -вибрационный уровень  $3/2^-$ .

Кроме вышеупомянутых уровней нами по балансу энергии и по аналогии возбужденных уровней  $^{181}\text{Ho}$  предположительно вводятся уровни с энергиями 837 и 1232 кэВ.



Таким образом, в результате разрядки трех уровней (205,8; 624,4 и 649,5 кэв) основное состояние  $^{189}\text{Ho}$  заселяется в  $\approx 75\%$  случаев. Если учесть разрядку уровней 505,5; 837 и 1232 кэв, то основное состояние заселяется  $\approx 90\%$ . Это дает основание предполагать, что при распаде  $^{189}\text{Er}$  должны возбуждаться более высокие уровни. Подтверждением этому служит наблюдение Легардом и др.  $^{189}\text{Er}$  на спинтиллиационном  $\gamma$ -спектрометре жестких  $\gamma$ -лучей  $^{189}\text{Er}$  с энергиями 1200, 1400, 1800 и 2600 кэв. К сожалению, в этой работе не приводятся интенсивности этих  $\gamma$ -лучей. В нашем  $\gamma$ -спектре эти переходы не проявились, по-видимому, они слабы и на фоне сильных жестких  $\gamma$ -лучей  $^{188}\text{Ho}$  (который присутствовал в нашем препарате как дочерняя активность  $^{188}\text{Er}$ ) не обнаруживаются. Уровни, определяющиеся переходами 1200, 1400, 1800 и 2600 кэв, могут разряжаться как в основное состояние  $^{188}\text{Ho}$ , так и на уровни  $1/2^+/411/$ ,  $5/2^-/532/$  и  $5/2^+/413/$ .

#### Л и т е р а т у р а

1. А.А.Абдуразаков, Ф.М.Абдуразакова, К.Я.Громов, Г.Я.Умаров, ЖЭТФ, т.41, 1720, (1961).
2. А.А.Абдуразаков, А.А.Абдумаликов, К.Я.Громов, Ф.Н.Мухтасимов, Г.Я.Умаров. Изв.АН Уз.ССР, серия физ.матем. №2, 43 (1964).
3. P.Legarde, J.Trehere, A.Guzon, I.Valentin. J. de Phys. 27, N 3-4 116, (1966).
4. T.Stestrom, R.Jung. Nucl.Phys, 64, 209, (1965).
5. Ф.Н.Мухтасимов. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, Ташкентский государственный университет 1967г.
6. J.Borggreen, H.J.Frahm, N.I.Sigurd Hansen and S.Bjornholm. Nucl.Phys. 77, 619, (1966).
7. А.А.Абдуразаков, Я.Врзал, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, В.Г.Калинников, Я.Липтак, Ли Сан Гын, Ф.Н.Мухтасимов, У.К.Назаров, Я.Урбанец. Препринт ОИЯИ, Р-3464, Дубна, 1967 г.
8. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, В.Г.Калинников, Я.Липтак, У.К.Назаров, Я.Урбанец. Препринт ОИЯИ, Р6-3496, Дубна, 1967 г.
9. А.А.Абдуразаков, Ж.Т.Желев, В.Г.Калинников, Я.Липтак, Ф.Молнар, У.К.Назаров, Я.Урбанец. Препринт ОИЯИ, Р6-3634, Дубна, 1967.



10. G.Backstrom, I.Lindskog, O.Bergman, E.Bashandy, SA.Backlin, Arkiv fys. 15, 121, (1959).
11. G.TEwan, R.L.Grahan, I.S.Geiger, Nucl.Phys. 22, 610, (1961),
12. F.Boehm, I.Rogers, Nucl.Phys. 41, 553, (1963).
13. А.А.Абдуразаков, А.А.Абдумаликов, Ф.М.Абдуразакова, К.Я.Громов, Г.Я.Умаров, Изв.АН Уз.ССР, серия физ.-матем.наук, №1, 37 (1962).
14. К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, В.Звольска, В.Г.Калинников. Ядерная физика, 2, 783, (1965).
15. Гамма-лучи. Под редакц. А.А.Слива. Изд. АН СССР. (1961).
16. Г.Ф.Драницина. Препринт ОИЯИ, Р-959, Дубна (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел

11 января 1968 года.

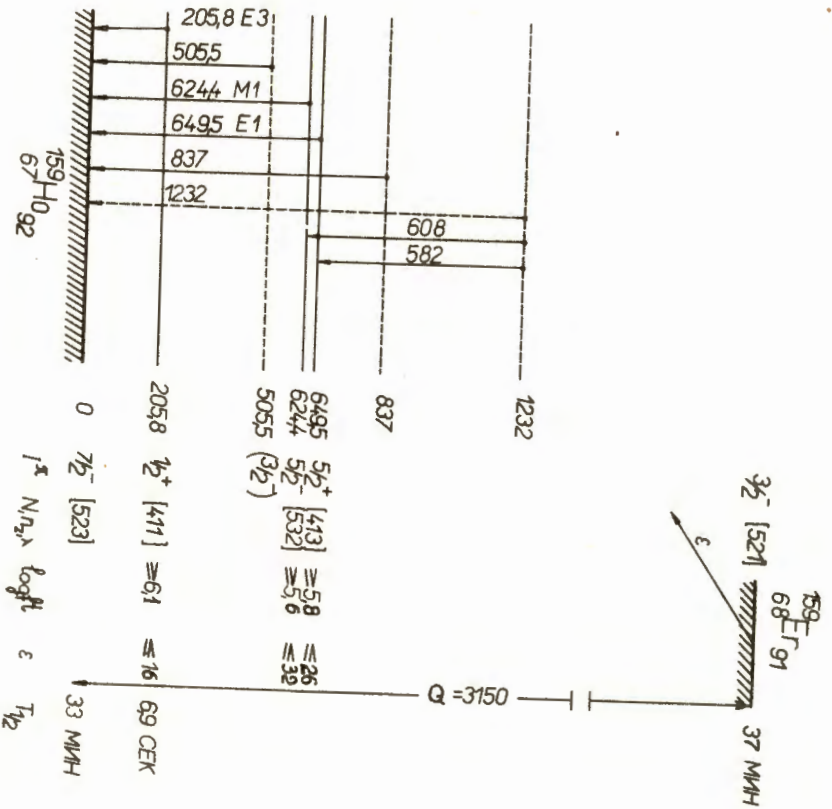


Рис. 1. Схема пачинае 100 Et .

Таблица I

Энергия и интенсивности гамма-переходов, возникающих при распаде <sup>180</sup>Er

$E_{\gamma}$ кэВ	к	$L_I$	$L_{II}$	$L_{III}$	$\Sigma M$	N	$I_{\gamma}$	$I$ полн.	% на распад
205,8	100	8,4	82	55	35	16	200	496	16,2
505,5	I, I	слаб					< 100	≤ 101	3,3
582	-						170+ 40	170	5,5
608	-						130+ 30	130	4,2
624,4	13	2,0	< 0,4	-	0,5	-	970+150	985	32,1
649,5	<4(слож)	слож					820+130	820	26,7
(768)	-						90+ 30	90	2,9
837	-						175+ 50	175	5,7
(865)	-						175+ 50	175	5,7
(1232)	-						150+ 60	150	4,9
253,0	60	4,8	0,4	-	1,2	0,4	390+100	460	15

- Примечание: 1. Для связи единиц интенсивностей гамма-лучей и конверсионных электронов  $a_k$  для перехода 205,8 кэВ принято равным теоретическому для мультипольности E3.
2. Слаб.-переход слабый; сложн.-переход сложный; ( ) -переход отнесен к распаду <sup>180</sup>Er предположительно.
3. Гамма-переход 253,0 кэВ возникает при распаде <sup>180</sup>Ho.

Таблица 2

Определение мультипольности  $\gamma$ -переходов при распаде  $^{100}\text{Er}$ 

$E_\gamma$ кэВ	Метод определения мультипольности	Эксперимент	Теоретические значения					Вывод о мультипольности
			E1	E2	E3	M1	M2	
205,8	$K: L_1$	$11,9 \pm 4$	11,6	13,1	12,1	10,20	9,1	E3
	$L_1: L_{II}$	$0,10 \pm 0,004$	7,1	0,65	0,14	12,05	8,05	
	$L_{II}: L_{III}$	$1,5 \pm 0,5$	0,91	1,35	1,60	6,10	1,27	
505,5	$a_k$	$\geq II$	4,4	12	31	26	80	не E1
624,4	$K: L_1$	$7 \pm 2$	8,2	7,35	6,6	6,75	6,5	E1, M1, M2
	$L_1: L_{II}$	$> 5$	13	3,6	1,47	13,3	10	
624,4	$a_k$	$13,4 \pm 3$	2,9	7,2	17,5	14,5	46	M1
649,0	$a_k$	$< 5$	2,6	6,5	16	13,5	43	E1