

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Г-702

P6-87-931

В.М.Горожанкин, В.Брабец², С.К.Васильев¹,
Ц.Вылов, К.Я.Громов, О.Драгоун,²
В.Г.Калинников, А.Ковалик, Н.А.Лебедев,
А.Ф.Новгородов

ПОИСК И НАБЛЮДЕНИЕ E1 ГАММА-ПЕРЕХОДА
С ЭНЕРГИЕЙ 7,13 кэВ В РАСПАДЕ



Направлено на Совещание по ядерной спектроскопии
и структуре атомного ядра /Баку, апрель 1988 г./.
Направлено в журнал "Известия АН СССР, серия
физическая"

¹Радиевый институт им.В.Г.Хлопина, Ленинград

²Институт ядерной физики ЧСАН, Ржеж

Впервые утверждение о том, что распад ^{160}Er происходит на неизвестный уровень ^{160}Ho , расположенный на несколько килоэлектронвольт выше изомерного $T_{1/2} = 5,02$ час /рис.1/, было сделано в 1959 году^{1/}. Основанием для этого утверждения послужил тот факт, что ни единственный возбуждаемый в распаде уровень 2^- , который разряжается в основное состояние E3 гамма-переходом с энергией 60 кэВ, ни тем более основное 5^+ -состояние ^{160}Ho не могут быть конечными для разрешенного или однократно запрещенного бета-распада четно-четного ядра $^{160}\text{Er} (I^\pi = 0^+)$. Характер бета-перехода однозначно вытекал даже из грубой оценки энергии распада ^{160}Er : не более 1 МэВ /в его спектре не наблюдается ни позитронного, ни аннигиляционного излучения/.

Последующие десятилетия, в течение которых методом атомного пучка был измерен спин основного состояния $^{160}\text{Ho} - I = 5^{2/}$, на основе бета-распада ^{160}Ho установлена положительная четность этого состояния^{2,3/}, существенно уточнена разность масс $^{160}\text{Er} - ^{160}\text{Ho} Q_+ = 330 \pm 30$ кэВ^{4/} и бета-переход однозначно определен как разрешенный, лишь усиливали это утверждение и заставляли вести все более настойчивый поиск уровня $I^+ ^{160}\text{Ho}$ в распаде ^{160}Er . Однако неоднократные попытки идентифицировать уровень оказались безуспешными^{5-7/}.

В выполненном эксперименте нам удалось наблюдать в распаде ^{160}Er E1 гамма-переход, который позволяет определенно установить энергетическое положение и характеристики этого уровня. Исследована низкоэнергетическая область спектра электронов и гамма-квантов, испускаемых в распаде ^{160}Er . Измерения спектра электронов выполнены при помощи электростатического спектрометра электронов ESA-50^{8/} с энергетическим разрешением ~ 9 эВ /K14,4 ^{57}Co /. Спектр гамма-излучения исследован на спектрометре с HPGe-детек-

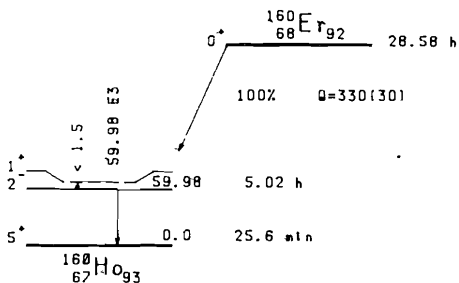


Рис.1. Схема распада ^{160}Er с предполагаемым уровнем I^+ /взята из работы^{14/} /.

тором, который имеет энергетическое разрешение $\Delta E = 200$ эВ / $K_{\alpha}^{55}\text{Fe}$ / и размеры $30 \text{ мм}^2 \times 6 \text{ мм}$.

Радиоизотоп ^{160}Er получен в реакции глубокого расщепления при облучении мишени из тантала протонами с энергией 640 МэВ на фазотроне ЛЯП ОИЯИ. После химической очистки "остывшей" в течение более суток мишени из нее путем разделения редкоземельных элементов на хроматографической микроколонке был выделен эрбий, содержащий к этому времени в основном радионуклиды ^{160}Er и ^{165}Er /и небольшую примесь ($\leq 2\%$) ^{165}Tm и ^{167}Tm - изотопов тулия/. Тонкие источники электронов изготавливались термическим испарением эрбия в вакууме на алюминиевую подложку. Испарение проводилось при $T = 1200^\circ\text{C}$ с тантала, на который предварительно электролитически наносился препарат. Источники гамма-излучения получались выпариванием небольших объемов эрбиевой фракции, которая периодически очищалась на хроматографической колонке от дочернего ^{160}Ho . Оставшийся при очистке ^{160}Ho , а также специально выделявшийся из тулиевой фракции ^{165}Er были использованы в измерениях "чистых" /"реперных"/ спектров оже-электронов и рентгеновского излучения диспрозия и гольмия соответственно.

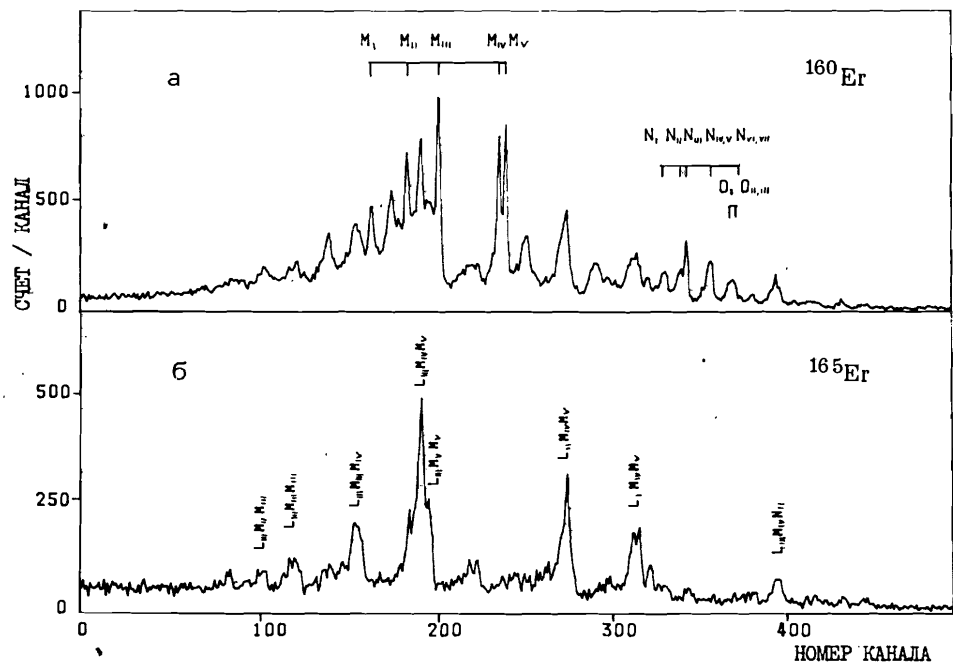


Рис.2. Спектры электронов ^{160}Er /а/ и L-оже спектр гольмия из распада ^{165}Er /б/, измеренные с помощью электростатического спектрографа ESA-50.

Обзорные спектры электронов, испускаемых в распаде ^{160}Er и ^{165}Er в диапазоне 3,3 - 8,3 кэВ /область L-оже-электронов/, приведены на рис.2. Видно, что в спектре ^{160}Er помимо L-оже-электронов гольмия и L-оже-электронов диспрозия от распада на каплю дочернего ^{160}Ho /оже-спектр Dy аналогичен приведенному на рис.2б, но сдвинут на ~ 170 эВ в сторону меньших энергий и в 1,5 раза слабее по интенсивности/ наблюдается группа интенсивных и узких линий, которые не могут быть отнесены к оже-спектрам гольмия и диспрозия. Более наглядно это демонстрирует рис.3, где показаны только области этих линий /диа-

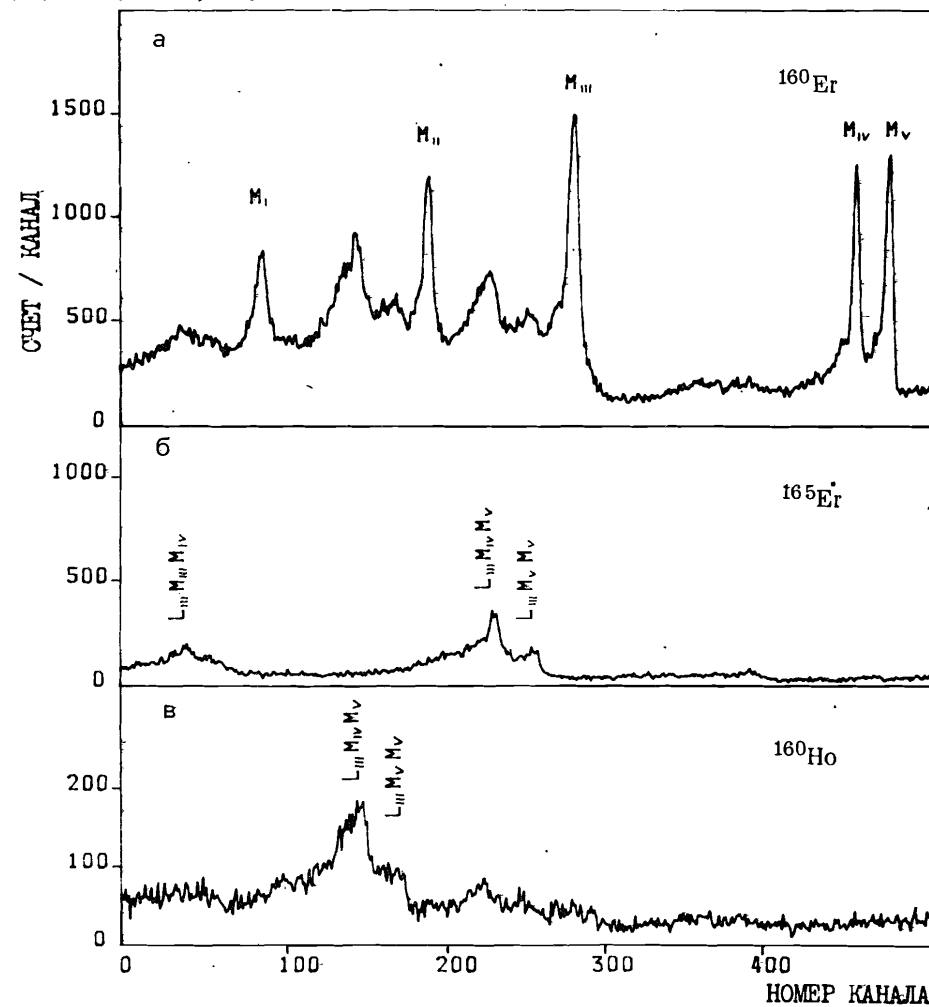


Рис.3. Спектры электронов в диапазоне 4,9-5,8 кэВ из распада ^{160}Er /а/, ^{165}Er /б/ и ^{160}Ho /в/, измеренные с помощью ESA-50.

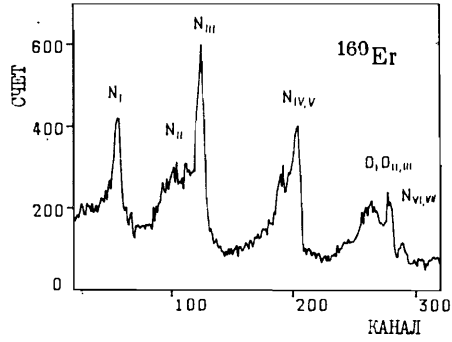


Рис.4. Спектр электронов ^{160}Er в области N, O -конверсионных линий найденного гамма-перехода.

пазон 4,9-5,8 кэВ/ в спектрах ^{160}Er /а/, ^{165}Er /б/ и ^{160}Ho /в/ и рис.4.

Сопоставив разности энергий этих линий с разностями энергий связи электронов M-, N- и O-подоболочек гольмия /9/

/см. табл.1/, мы идентифицировали их как M-, N- и O-конверсионные линии, принадлежащие гамма-переходу в ядре гольмия. Расхождение в величинах разностей для большинства линий не превышает 1 эВ.

Далее была проведена серия из трех последовательных измерений спектра электронов ^{160}Er , в результате которой установлено, что интенсивности этих линий уменьшаются с $T_{1/2} = 26,8 \pm 2,0$ час. Эти факты позволяют сделать утверждение, что мы имеем дело с гамма-переходом, принадлежащим распаду ^{160}Er .

Для определения абсолютного значения энергии гамма-перехода проведены измерения спектра электронов источника, содержащего смесь изотопов ^{160}Er и ^{57}Co . Осуществив градуировку спектрометра по K-, L_1 -, L_2 - и M_1 -конверсионным линиям перехода $14,41302/32/$ кэВ /10/ ^{57}Co , мы нашли, что значение энергии E1 гамма-перехода в распаде ^{160}Er равно $7,133 \pm 0,010$ кэВ. Отметим, что приведенная погрешность включает в себя возможные систематические ошибки, связанные с тем, что достоверно неизвестно, какое химическое соединение эрбия имели мы в источнике, и поэтому возникают погрешности в оценке работы выхода и химического сдвига.

В табл.2 приведены отношения интенсивностей конверсионных линий этого гамма-перехода. Поскольку обработка аппаратных пиков конверсионных линий проводилась в предположении, что сложные L-оже-спектры представляют собой в окрестности пика плавное фоновое распределение /что не всегда верно/, то наблюдаемое согласие с отношениями теоретических КВК M-линий /11/ в пределах 20% можно считать удовлетворительным, чтобы сделать вывод о E1-мультипольности этого гамма-перехода. E1 гамма-переход такой энергии должен иметь, исходя из коэффициентов конверсии, заметный /~ 5%/ выход гамма-квантов. Мы изучили гамма-спектр ^{160}Er и обнаружили гамма-лучи с энергией 7,13 кэВ

Таблица 1. Сравнение экспериментальных разностей энергий найденных в спектре электронов ^{160}Er конверсионных линий, ΔE , и разностей энергий связи электронов M-, N-, O-подоболочек в нейтральном атоме гольмия

i	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	N ₁	N ₂	N ₃	O ₁	O ₂
$\epsilon_{M_1} - \epsilon_i$, эВ	205	387	737	777	1692	1785	1822	2077	2108
ΔE , эВ	206(3)	387(3)	737(4)	777(4)	1692(6)	1784(6)	1819(6)	2065(7)	2107(7)

Таблица 2. Сравнение экспериментальных и расчетных /для E1- и M2-мультипольности/ относительных интенсивностей конверсионных M-линий гамма-перехода с энергией 7,13 кэВ в гольмии

Линия	Э к с п е р и м е н т					Среднее		Расчет /11/	
	Номер опыта					E1	M2	E1	M2
	1	2	3	4	5				
M ₁	41(5)	32(5)	35(5)	39(4)	41(2)	39(2)	39	140	
M ₂	47(5)	46(4)	44(6)	53(3)	48(3)	48(2)	55	54	
M ₃	100	100	100	100	100	100	100	100	
M ₄	56(9)	58(9)	63(9)	58(5)	62(4)	60(3)	52	1,6	
M ₅	65(10)	63(10)	68(9)	68(6)	70(6)	68(3)	70	0,14	

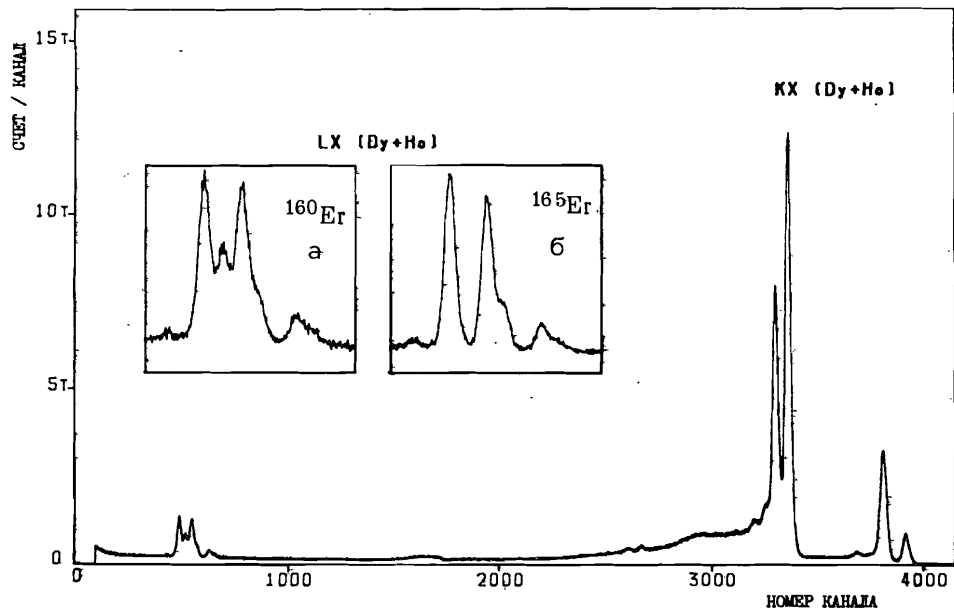


Рис.5. Низкоэнергетическая область спектра гамма-излучения ^{160}Er , измеренного с помощью HPGe-детектора. На вставке показан обнаруженный γ -переход ^{160}Er в области LX-излучения гольмия /а/ и вид "чистого" LX-спектра гольмия из распада ^{165}Er /б/.

в области LX-излучения /см.рис.5/. Используя данные об относительных интенсивностях гамма-лучей 7,13 кэВ, LX-лучей и конверсионных электронов перехода 7,13 кэВ, мы оценили абсолютную интенсивность перехода 7,13 кэВ. Она оказалась близкой к 100% на распад /экспериментальное значение $90 \pm 20\%$ /.

Ранее /12/ при изучении уровней, возбуждаемых в ядерных реакциях, было обнаружено I^+ -состояние ^{160}Ho , претерпевающее электронный захват с периодом полураспада 7 минут. Мы попытались

оценить время жизни найденного нами I^+ -уровня по нарастанию интенсивности гамма-перехода 7,13 кэВ в источнике ^{160}Er , очищенном от дочернего изотопа ^{160}Ho .

Рис.6. Результаты измерения периода полураспада I^+ -уровня с энергией 67,11 кэВ в ^{160}Ho .

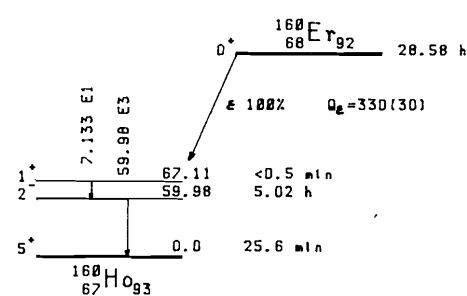
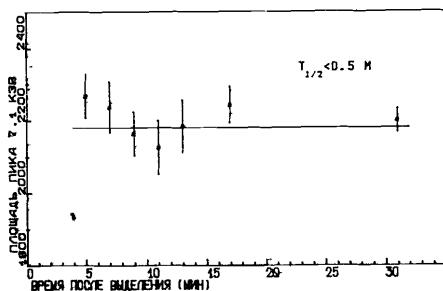


Рис.7. Схема распада ^{160}Er .

На рис.6 приведены результаты одной из серий последовательных измерений интенсивности гамма-квантов с энергией 7,13 кэВ. По полученным в этих измерениях оценкам уровень I^+ с энергией 67,11 кэВ имеет период полураспада не более 0,5 мин /98% CL/.

Таким образом, полученные экспериментальные данные позволяют окончательно установить схему распада ^{160}Er /28,58 час/ /рис.7/. Из основного состояния 0^+ ядра ^{160}Er через электронный захват ($Q_c = 330(30)$ кэВ /4/, $\log ft = 4,8^{+0,6/13}_{-0,3}$) с интенсивностью 100% на распад /7/ происходит разрешенный незадержанный β -переход на состояние $I^+ \{p 1/2 [523] + n 5/2 [523]\}$, с энергией 67,11 кэВ в ядре ^{160}Ho . Из этого состояния происходит E1-переход с энергией 7,13 кэВ на изомер в ^{160}Ho / $T_{1/2} = 5,02$ часа, $E_{ур.} = 59,98$ кэВ /14//.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев Е.П., Желепов Б.С., Золотавин А.В. - Изв.АН СССР, сер.физ., 1959, 23, с.864.
2. Ekström C. et al. - Nucl.Phys., 1969, A135, p.289.
3. Tuli J.K. - Nucl.Data Sheets, 1974, 12, p.513.
4. Wapstra A.H., Audi G. - Nucl.Phys., 1985, A432, p.1.
5. Авотина М.П. и др. - Изв.АН СССР, сер.физ., 1965, 29, с.1098.
6. Артамонова К.П. и др. - В кн.: Программа и тезисы докл. XXIV Совещания по ядерн.спектр. и структуре ат.ядра. М.-Л.: Наука, 1974, с.115.
7. Александров А.А. и др. - Изв.АН СССР, сер.физ., 1974, 38, с.2096.
8. Briançon C. et al. - Nucl.Instr.& Meth. in Nucl.Res., 1984, 221, p.547.
9. Larkins F.P. - Atomic Data and Nucl.Data Tables, 1977, 20, p.31.
10. Borchert G.L. - Zeitschr.Naturforschung, 1976, Bd.31A, p.387.
11. Банд И.М., Тржасковская М.Б. Таблицы коэффициентов внутренней конверсии гамма-лучей. Л.: ЛИАФ, 1978.

12. Schepers H. Report BMW-FB, K70-30, 1970.
13. Александров В.С. и др. - Изв.АН СССР, сер.физ., 1973, 37, с.948.
14. Lee M.A., Bunting R.L. - Nucl.Data Scheets, 1985, 45, p.187.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 декабря 1987 года.

Горожанкин В.М. и др. P6-87-931
Поиск и наблюдение E1 гамма-перехода
с энергией 7,13 кэВ в распаде $^{160}\text{Er} \rightarrow ^{160}\text{Ho}$

В спектрах электронов и гамма-квантов, возникающих при распаде ^{160}Er , обнаружен переход с энергией 7,13 кэВ. Это позволило подтвердить предсказанное ранее существование уровня I^+ в ядре ^{160}Ho и установить его характеристики.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Gorozhankin V.M. et al. P6-87-931
The Search and Observation of
E1-Gamma-Transition with 7.13 keV Energy
in Decay of $^{160}\text{Er} \rightarrow ^{160}\text{Ho}$

The E1-transition with 7.13 keV energy has been found in electron and gamma-ray spectrum of ^{160}Er decay. The energy and other characteristics of I^+ -level in ^{160}Ho predicted earlier are determined.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987