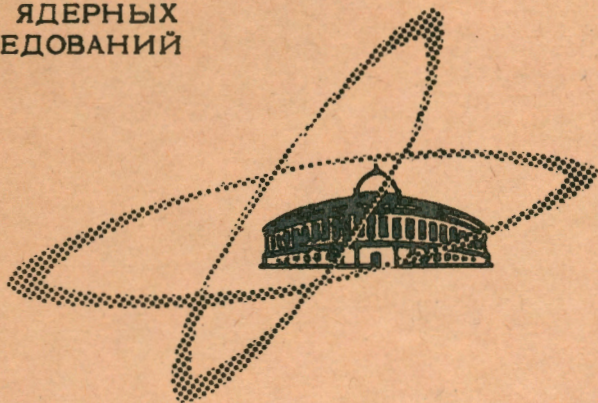


3634

Экз. чит. зала

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P6 - 3634

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

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

РАСПАД <sup>159</sup>Но

1967.

**Р6 - 3634**

**А.А.Абдуразаков, Ж.Т.Желев, В.Г.Калинников,  
Я.Липтак, Ф.Молнар, У.К.Назаров, Я.Урбанец**

**РАСПАД <sup>159</sup>Но**

Направлено в Изв. АН СССР.

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

Нижние возбужденные состояния деформированных ядер с нечетным  $A$  неплохо описываются на основе представлений об одноквазичастичных уровнях и связанных с ними ротационных полосах. Получение экспериментальных данных об уровнях таких ядер важно для сопоставления с теорией и для дальнейшего ее развития.

Радиоактивный изотоп  $^{159}\text{Ho}$  ( $T_{1/2} = 33 \pm 1$  мин) исследовался рядом авторов /1-3/. Тот /1/ первым обнаружил 33-минутную активность  $^{159}\text{Ho}$  при облучении  $^{159}\text{Tb}$   $\alpha$ -частицами с энергией 48 Мэв. Существование этого изотопа было подтверждено в последующих работах /2,3/ при изучении спектра конверсионных электронов. В работе /2/ была впервые предложена схема распада  $^{159}\text{Ho}$ .

Борггрин и др. /4/ исследовали возбужденные состояния  $^{159}\text{Dy}$  при облучении  $^{159}\text{Tb}$  протонами с энергией 8-12 Мэв и дейтронами с энергией 12 Мэв. Ими был обнаружен изомерный уровень  $11/2^- [505]$  ( $T_{1/2} = 115 \pm 10$  мсек), а также подтверждена схема возбужденных уровней ротационной полосы основного состояния  $^{159}\text{Dy}$ , предложенная в работе /2/.

Гамма-лучи, сопровождающие распад  $^{159}\text{Ho}$ , изучались Легардом и др. /5/ при помощи  $\gamma$ -спектрометра с кристаллом  $\text{NaI(Tl)}$ .

Наблюдались характерные  $\gamma$ -лучи, ранее обнаруженные в работах /1-3/.

Наиболее полные сведения о спектре конверсионных электронов, возникающих при распаде  $^{159}\text{Ho}$ , были получены в работе /6/ при изучении эрбиевой и гольмиевой фракций, выделенных из продуктов облучения  $\text{Ta}$ -ми-

шени протонами,  $E_p = 660$  Мэв. Авторами /6/ был введен ряд новых уровней в схему распада  $^{159}\text{Ho}$ .

В настоящей работе были исследованы спектры электронов внутренней конверсии и  $\gamma$ -лучей  $^{159}\text{Ho}$ .

**Источники.** В качестве источников мы использовали препараты эрбия и гольмия, выделенные хроматографически из танталовой мишени, облученной протонами с энергией 660 Мэв. Фракция каждого редкоземельного элемента, выделенного из танталовой мишени, содержит несколько (до 8-10) нейтрондефицитных изотопов этого элемента. Фракция гольмия при этом содержит четыре изотопа с близкими ( $\approx 0,5$  часа) периодами полураспада:  $^{159}\text{Ho}$ ,  $^{158}\text{Ho}$ ,  $^{156}\text{Ho}$  и  $^{155}\text{Ho}$ . В связи с этим для исследования  $\gamma$ -спектра  $^{159}\text{Ho}$  мы использовали препараты гольмия, выделенные из эрбиевой фракции. Исследуя  $\gamma$ -спектры препарата гольмия, выделенного через разное время после конца облучения, мы имели возможность надежно выделить  $\gamma$ -лучи, принадлежащие  $^{159}\text{Ho}$ .

Источники для  $\gamma$ -спектрометра готовились выпариванием активного раствора, полученного после хроматографического разделения, на алюминиевую фольгу, а для  $\beta$ -спектрографа - электролитическим осаждением на платиновую проволоку диаметром 0,1 мм.

### Приборы и экспериментальные результаты

Изучение  $\gamma$ -спектра гольмия, выделенного из эрбия, проводилось при помощи гамма-спектрометра с  $\text{Ge(Li)}$  - детектором коаксиального типа (чувствительный объем  $12\text{ см}^3$ ) с разрешающей способностью  $\approx 4,5$  кэв. Амплитудный анализ осуществлялся 2048 - каналным анализатором.

В гамма-спектре гольмия, снятого в таких условиях, наблюдались в основном  $\gamma$ -лучи, возникающие при распаде  $^{159}\text{Ho}$  и  $^{158}\text{Ho}$ . В этом спектре в принципе должны были также проявиться  $\gamma$ -лучи  $^{157}\text{Ho}$ . Однако мы не наблюдали в наших опытах сильный  $\gamma$ -переход  $^{157}\text{Ho}$  с  $h\nu = 276$  кэв, известный по работе /5/, где  $\gamma$ -спектр моноизотопического препарата  $^{157}\text{Ho}$  изучался на сцинтилляционном  $\gamma$ -спектрометре. Сильный переход с  $h\nu = 326$  кэв дочернего  $^{157}\text{Dy}$ , который составляет 95% на распад, в спектре проявлялся очень слабо.

Чтобы исключить вклад  $\gamma$ -лучей  $^{158}\text{Ho}$  в  $\gamma$ -спектре нами была снята серия  $\gamma$ -спектров гольмиевого препарата, выделенного из эрбия спустя 4 часа после выхода последнего. В этом препарате активность  $^{159}\text{Ho}$  практически отсутствовала. Такая серия спектров также дала возможность исключить вклад изотопов  $^{161}\text{Ho}$  и  $^{160}\text{Ho}$ , сильные линии которых проявились в  $\gamma$ -спектре очень слабо. Были приняты также во внимание данные о  $\gamma$ -лучах  $^{158}\text{Ho}$ ,  $^{161}\text{Ho}$  и  $^{160}\text{Ho}$ , опубликованные в работах /7-9/.

Результаты исследования  $\gamma$ -спектра  $^{159}\text{Ho}$  приведены в таблице 1 (коллонка 9). На рис.1 приведен участок  $\gamma$ -спектра  $^{159}\text{Ho}$ .

Спектр конверсионных электронов  $^{159}\text{Ho}$  изучался на трех бета-спектрографах с однородными магнитным полем. Электроны регистрировались фотопластинками типа P-50 мк. Была исследована область в интервале энергий от 20 до 3600 кэв при разрешающей способности приборов 0,05-0,07%. Относительные интенсивности линий конверсионных электронов определялись по плотности почернения методом, описанным в работе /10/, с точностью 20-30%. Градуировка по энергиям проводилась по конверсионным линиям  $^{160}\text{Ho}$ , энергии которых известны с точностью 0,02% /11-13/. Энергия электронов определялась расчетным методом на вычислительной машине "Минск-2". Точность определения энергии в наших опытах не хуже 0,05%.

Результаты исследования спектра конверсионных спектров представлены в таблице 1. Основанием для приписания перечисленных в таблице 1  $\gamma$ -переходов к распаду  $^{159}\text{Ho}$  были следующие экспериментальные данные:

- Интенсивность конверсионных линий рассматриваемых  $\gamma$ -переходов убывала в спектрограммах препаратов эрбия и гольмия с периодом полураспада  $30\text{ мин} < T_{1/2} < 1$  часа. Скорость убывания интенсивности линий оценивалась по плотности почернения в последовательно экспонированных фотопластинках.
- По разности энергии линий  $K_I - L_I, -L_{II}, -L_{III}$  устанавливалось, что  $\gamma$ -переход происходит в ядре диспрозия ( $Z = 66$ ).
- Принимались во внимание результаты исследования  $\gamma$ -спектра  $^{159}\text{Ho}$ .

### Определение мультипольности $\gamma$ -переходов

Сравнивая отношение интенсивностей  $K_I - L_I, -L_{II}, -L_{III}$ -линий с теоретическими отношениями коэффициентов конверсии /14/ для разных мультиполей, мы определили мультипольности  $\gamma$ -переходов с энергиями 31,4; 56,6;

79,9; 100,6; 121,0; 132,0; 136,5; 159,2; 173,1; 177,6; 253,0 и 309,6 кэв (табл.2). Мультипольности некоторых из этих переходов и ряда других переходов также были определены путем сравнения экспериментальных отношений  $I_x/I_y$  с теоретическими значениями  $a_k$  /14/ (табл. 3).

При анализе  $\gamma$ -спектра  $^{159}\text{Ho}$  мы не обнаружили заметного превышения относительной интенсивности аннигиляционного пика гольмиевого препарата, выделенного из эрбия сразу после выхода последнего, над относительной интенсивностью аннигиляционного пика в источнике гольмия, который был выделен из эрбия спустя 4 часа. Этот факт позволяет сделать заключение, что его интенсивность не превышает 0,1% от полного числа распадов  $^{159}\text{Ho}$ .

#### Схема распада $^{159}\text{Ho}$

Предлагаемая нами схема распада  $^{159}\text{Ho} \rightarrow ^{159}\text{Dy}$  изображена на рис.2. В известной степени она является развитием схемы, предложенной в работах /2,6/, и в пределах ошибок эксперимента удовлетворяет энергетическому балансу и балансу интенсивностей.

Спин основного состояния  $^{159}_{67}\text{Ho}_{92}$  непосредственно не измерялся. Схема уровней Нильссона для 67 протона предсказывает состояние  $7/2^- [523]$ . Действительно, у ядер  $^{161}\text{Ho}$  и  $^{165}\text{Ho}$ , имеющих 67 протонов, экспериментально определены спины их основных состояний, равные  $7/2$ . Таким образом можно предположить, что основное состояние ядра  $^{159}\text{Ho}$  имеет характеристики  $7/2^- [523]$ . Как мы увидим ниже, при анализе распада  $^{159}\text{Ho}$  удастся получить дополнительные аргументы в пользу этого.

Характеристики основного состояния  $^{159}_{66}\text{Dy}_{93}$  определяются последним нечетным нейтроном. По схеме Нильссона 93-й нейтрон должен находиться в состоянии  $3/2^- [521]$ . Предсказание схемы Нильссона подтверждается результатами измерения Долореса /15/, который непосредственно измерил спин основного состояния  $^{159}\text{Dy} (I = 3/2)$ .

В таком случае бета-переход  $^{159}\text{Ho}$  в основное состояние  $^{159}\text{Dy}$  оказывается дважды запрещенным (2u). Распад  $^{159}\text{Ho}$  может быть осуществляться, главным образом, через возбуждение одночастичных уровней  $^{159}\text{Dy}$  и связанных с ними ротационных полос (на состояниях  $3/2^- [521]$ ;  $5/2^+ [642]$ ;  $5/2^- [523]$ ).

Наиболее интенсивные переходы 58,8 и 79,9 кэв по работам /2,6/ определяют положение первых двух ротационных уровней основного состояния  $3/2^- [521]$ . Существование этих уровней также было подтверждено результатами работы Борггринна и др. /4/. В настоящее время нет сомнения, что при распаде  $^{159}\text{Ho}$  возбуждаются ротационные уровни включительно до  $7/2^-$  основного состояния  $3/2^- [521]$ . Уровень со спином  $9/2$  этой полосы наблюдался в ядерных реакциях /4/ и имеет энергию 238 кэв. Уровень такого типа при распаде  $^{159}\text{Ho}$  был введен предположительно в работе /8/. Наши результаты не позволяют уверенно установить, возбуждается ли при распаде  $^{159}\text{Ho}$  уровень  $9/2$  этой полосы. Однако заселение уровня  $9/2^- [521]$   $\gamma$ -переходами с вышележащих уровней весьма вероятно (рис.2).

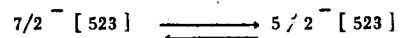
Ввиду того, что все три перехода идут с уровня 309,6 кэв на уровни ротационной полосы основного состояния типа M1, то уровню 309,6 кэв можно приписать квантовые характеристики  $5/2^-$ .

Используя интенсивности  $\gamma$ -лучей и конверсионных электронов, мы определили заселенность уровня 309,6 и некоторых других уровней при электронном захвате. Эти данные приведены на рис.2. Как видно из рис.2, наиболее сильно заселяется уровень 309,6 кэв ( $\approx 75\%$ ).

Разрешенный характер  $\beta^-$ -перехода на уровень 309,6 кэв позволяет предположить, что возможное позитронное излучение  $^{159}\text{Ho}$  связано с распадом на этот уровень. Как указывалось выше, мы не наблюдали аннигиляционного пика и его интенсивность меньше 0,1% от полного числа распадов. При таком предположении отношение интенсивностей  $K^-$  и  $\beta^+$ -распада для разрешенного перехода на уровень 309,6 кэв больше 750. Сравнивая это значение с расчетными величинами для разрешенных переходов /16/, мы можем сказать, что разность масс  $^{159}\text{Ho} \rightarrow ^{159}\text{Dy}$  не больше 1700 кэв. Полуэмпирические формулы Майера и др. /17/, Драницыной /18/, Леви /19/ и Камерона /20/ дают для этой разности соответственно 1330, 1330, 1293, 1426 и 1378 кэв (точность определения энергии распада ядер по этим формулам не велика + 300 кэв).

Используя верхний предел энергии распада  $^{159}\text{Ho} \rightarrow ^{159}\text{Dy}$  и процент заселенности уровня 309,6 кэв, мы определили вероятность электронного захвата на этот уровень. Полученное значение  $\log ft$  находится в пределах  $4,1 < \log ft < 4,7$ . Такое низкое значение  $\log ft$  имеют  $\beta^-$ -переходы, относящиеся к типу разрешенных, не задержанных правилами отбора по асимптотическим кван-

товым числом ( $\alpha$ ). Обобщенная модель ядра предсказывает, что в области редких земель возможны только два  $\beta$  - перехода с такими низкими значениями



Это позволяет рассматривать уровень  $5/2^-$  (309,6 кэв) как нильссоновское состояние  $5/2^- [523]$ . В таком случае спин основного состояния  $^{159}\text{Ho}$  должен быть  $7/2$  и  $\beta$ -распад  $^{159}\text{Ho}$  на уровень 309,6 кэв можно интерпретировать как превращение  $p\ 7/2^- [523] \rightarrow n\ 5/2^- [523]$ . При распаде изотопа  $^{161}\text{Ho}$  аналогичный  $\beta$  - переход также имеет большую вероятность ( $\approx 75\%$ ).

Уровень с энергией 395,3 кэв мы рассматриваем как первый уровень ротационной полосы состояния  $5/2^- [523]$  с энергией 309,6 кэв. В пользу такого рассмотрения говорят мультипольности переходов 395,4 кэв (E2), 338,7 кэв (M1) и 258,8 кэв (M1), идущие на уровни полосы основного состояния  $3/2^- [521]$ .

Одночастичный уровень 177,6 кэв типа  $5/2^+ [642]$  был введен в работе <sup>18/</sup>. Он связан  $\gamma$  - переходами типа E1 с основным состоянием, уровнем 56,6 кэв и уровнем 309,6 кэв (см. таблицу 2 и 3). Таким образом, из мультипольностей переходов следует, что уровень 177,7 кэв имеет положительную четность и спин  $5/2$  или  $3/2$ . Спин  $3/2$  исключается тем фактом, что уровень 177,6 сравнительно сильно заселяется непосредственно из распада  $^{159}\text{Ho}$ .

Выше состояния 177,6 кэв  $5/2^+ [642]$  расположен уровень 209,0 кэв. Он разряжается переходом 31,4 кэв на уровень 177,6 кэв. Из мультипольности перехода 31,4 кэв (E1 или E2 + M1) не следует однозначно, что этот уровень положительной четности. Однако уровень 209,0 кэв связан еще  $\gamma$  - переходами типа E1 с уровнями ротационной полосы состояния  $5/2^- [523]$ . Это позволяет приписать ему положительную четность и интерпретировать как первый уровень полосы, основанной на состоянии  $5/2^+ [642]$ . Интересно сравнить разность энергии ротационных уровней  $7/2 \rightarrow 5/2$  состояния  $5/2^+ [642]$  в  $^{159}\text{Ho}$  и  $^{161}\text{Ho}$ , которые соответственно равны 31,4 кэв и 43,8 кэв.

На основании энергетического баланса и мультипольности некоторых переходов в настоящей работе предположительно вводятся в рассмотрение уровни с энергиями 292,4 кэв, 544,9 кэв и 1107 кэв. Возможные квантовые характеристики указаны на рис.2.

Не исключена возможность, что некоторые из этих уровней относятся к ротационным полосам  $5/2^+ [642]$  и  $5/2^- [523]$ .

Таким образом, в соответствии с предсказаниями обобщенной модели ядра, распад  $^{159}\text{Ho}$ , основные состояния которого характеризуются квантовыми числами  $7/2^- [523]$ , происходит в  $\approx 85\%$  распадов на уровни ротационной полосы состояния  $5/2^- [523]$ . Переходы на уровни ротационных полос, основанных на состояниях  $5/2^+ [642]$  и  $3/2^- [521]$ , запрещен. Доля электронного захвата на эти уровни не превышает 15%. Недостаточная точность при определении интенсивности  $\gamma$  - лучей и конверсионных электронов (10% + 30%) не позволяет получить надежное значение предела интенсивности электронного захвата на уровни ротационных полос  $3/2^- [521]$  и  $5/2^+ [642]$ . Поэтому при оценке значений  $I_{\text{э.з.}}$ , которая приведена в таблице 4, для уровней 0; 56,6; 136,5 и 242,3 кэв мы приняли нижний предел интенсивности распадов 0,1%, а для уровней 177,6 и 209,0 кэв это значение соответственно составляет  $1 < 1\% < 10$  и  $0,3 < 1\% < 3$ . Из таблицы 4 видно, что оценки значений  $I_{\text{э.з.}}$  на уровень 309,6 кэв совпадают с величинами  $I_{\text{э.з.}}$  для аналогичных переходов такого же типа в других ядрах и находятся в соответствии с предсказаниями теории <sup>12/1/</sup>.

Отношение вероятностей электронного захвата на уровни ротационной полосы состояния  $5/2^- [523]$  равно 10,7:1. Теоретическое отношение, вычисленное по правилу Алага, равно 3,3:1.

Можно также сравнить приведенные вероятности  $\gamma$  - переходов с уровня 309,6 кэв на уровни ротационной полосы основного состояния с ожидаемыми теоретическими значениями. Экспериментальные отношения равны (M1; 173,1 кэв): (M1; 253,0 кэв): (M1; 309,6 кэв) = 0,38:1:0,75. Отношения квадратов соответствующих коэффициентов Клебша-Гордана равны 0,17:1:1,6. Здесь тоже наблюдается расхождение экспериментальных величин от теоретических в два раза.

Наблюдаемые отклонения экспериментальных значений отношений интенсивностей  $\beta$  - переходов и  $\gamma$  - лучей от ожидаемых теоретических значений, возможно, связано со смешиванием состояний  $3/2^- [521]$  и  $5/2^- [523]$ .

В работе Боргрина и др. <sup>14/</sup> был возбужден изомерный уровень в  $^{159}\text{Du}$  типа  $11/2^- [505]$  с энергией 350 кэв ( $T_{1/2} = 115 \pm 10$  мсек), который разряжается двумя  $\gamma$  - переходами 118 кэв на ротационные уровни основного

состояния. В наших опытах мы не имели возможности наблюдать эти переходы и высказаться о существовании такого уровня, так как в спектре  $\gamma$ -лучей (рис. 1), где должны быть линии указанных переходов, имеются сильные  $\gamma$ -переходы других изотопов, и кроме того, при распаде  $^{159}\text{Ho}$  ( $7/2^-$  [523]) доля электронного захвата на уровень  $11/2^-$  [505] не должна превышать 0,1%. Заселение этого уровня с вышележащих уровней  $^{159}\text{Dy}$  также должно быть очень слабым.

#### Л и т е р а т у р а

1. Toth K.S., J. Inorg. and Nucl. Chemistry, 7, 1 (1958).
2. А.А.Абдуразаков, Ф.М.Абдуразакова, К.Я.Громов, Г.Я.Умаров. ЖЭТФ, 41, 1729 (1961).
3. T. Stenstrom, B. Jung. Nucl. Phys. 64, 209 (1965).
4. J. Borggreen, H.I. Franm, N.I. Sigurd Hansen and S. Bjornhalm. Nucl. Phys. 72, 509 (1965)
5. P. Lagarde, J. Treherne, A. Guzon, J. Valentin. Journal de Physique 27, N3-4 116 (1966).
6. К.Я.Громов, Ф.Н.Мухтасимов. Ядерная физика 4, 1102 (1966).
7. А.А.Абдуразаков, Я.Врзал, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев, В.Г.Калинников, Я.Липтак, Ли Со Гын, Ф.П.Мухтаевимов, У.К.Назаров, Я.Урбанец. Препринт ОИЯИ Р-3464, Дубна (1967).
8. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, В.В.Кузнецов, Ма Хо Ик, Н. Музиоль, Ф.Молнар, А.Молнар, Ф.Мухтасимов, Хань Шу-Жунь. Ядерная физика 1, 951 (1965).
9. Н.А.Бонч-Осмоловская, Я.Врзал, Е.П.Григорьев, Я.Липтак, Я.Урбанец, Пепринт ОИЯИ Р-2817, Дубна (1966).
10. А.А.Абдуразаков, А.А.Абдумаликов, Ф.М.Абдуразакова, К.Я.Громов. Изв. АН Узб.ССР серия физ.-мат., №1 (1962).
11. G. Backstrom, T. Lindskog, O. Bergman, E. Bashandy, A. Backlin, Arkiv. fys. 15, 121 (1959).
12. G.T. Ewan, R.L. Graham, T.S. Geiger. Nucl. Phys. 22, 610 (1961).

13. F. Boehm, T. Rogers. Nucl. Phys. 41, 553 (1963).
14. Гамма-лучи. Под редакцией Л.А.Слива. Изд. АН СССР, стр. 400 (1961).
15. A. Dolores. Nucl. Phys. 71, 441 (1965)
16. Л.Н.Зырянова. Уникальные бета-переходы. Изд-во АН СССР (1960).
17. W.D. Myers and W.J. Swiateski. Nuclear masses and deformations. Berkley, California, 1965
18. Г.Ф.Драницына. Препринт ОИЯИ, Р-959, Дубна (1962).
19. J. Ridell. A Table of Levey's Empirical Atomic Mass. CRP- 654, 1957.
20. J. Cameron, A. Rivised. Empirical Atomic Mass Formula. CRR- 690 1957.
21. V.G. Soloviev. Mat. Fys. Skr. Dan Vid Selck. 1, N1 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел

21 декабря 1967 года.

Таблица № 1

Энергия и относительные интенсивности линий конверсионных электронов  
и  $\gamma$ -лучей, возникающих при распаде  $^{159}\text{Ho}$ .

Е <sub>к</sub> , кэВ.	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	h <sub>5</sub>	ΣM	N	I <sub>к</sub>	I <sub>пол</sub>	Вывод о мультипольности
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
31,4	-	200	100	слож.	60	10	-	-	380	MI+E2 (2%), (E1)
41,1	-	5,0	<4	5,0	-	-	-	-	15	-
56,6	2800 <sup>к</sup>	400	80	76	80	15	280 <sup>кк</sup>	3700	3700	MI+E2(1,8±0,6%)
79,9	300	40	12	слож.	слож.	-	75 <sup>кк</sup>	430	430	MI±E2(6,1%), (E1)
85,7	слаб.	слаб.	-	-	-	-	-	-	-	-
100,6	27	2,0	слаб.	-	-	-	100 <sup>кк</sup>	130	130	E1, (MI+E2)
(105,8)	~1	-	-	-	-	-	-	~1	~1	-
121,0	300	28	5,5	7,0	5,5	~1	2400	2750	2750	E1
132,0	200	18	3,0	4,5	слож.	слаб.	1400	1630	1630	E1
136,3	16	~1	4,0	слож.	слож.	-	30 <sup>кк</sup>	50	50	E2
153,1	слаб.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
155,9	15,0	~1	-	-	-	-	150	170	170	E1+M2 (<2%)
159,2	27,0	4,0	слаб.	слож.	слаб.	-	≤50	≤80	≤80	(MI)
173,1	50,0	7,0	слож.	-	1,0	-	150	210	210	MI

Продолжение табл. №1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
177,6	21,0	2,0	-	слаб.	слаб.	-	260	285	E1
(185,7)	~1	-	-	-	-	-	-	-	-
186,2	5,0	слаб.	-	-	-	-	130	135	E1+M2 (<2%)
205,7	3,0	слож.	-	-	-	-	90	95	E1+M2 (<1%)
217,7	3,0	слож.	-	-	-	-	90 <sup>кк</sup>	95	(E1)
253,0	100	10	0,6	-	2,5	0,8	650	760	MI
258,8	12,0	1,6	-	-	слаб.	-	80	95	MI ± E2 (<70%)
302,6	0,4	-	-	-	-	-	~15	~15	(E2)
309,6	90	9	0,6	-	2,0	слаб.	870	970	MI
336,0	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-
338,7	2	слаб.	-	-	-	-	60	62	(MI)
395,4	0,4	-	-	-	-	-	20	20	E2, E2 ± MI
408,4	0,3	-	-	-	-	-	20	20	E2, E2±MI
460,5	0,5	-	-	-	-	-	30	30	E2, E2±MI
566,8	0,3	-	-	-	-	-	30	30	E2, E2±MI
588,9	0,7	-	-	-	-	-	45	45	E2, MI
712	-	-	-	-	-	-	45	45	-
797	-	-	-	-	-	-	60	60	-



Примечание: Интенсивности конверсионных электронов и  $\gamma$ -лучей приведены в одинаковых единицах. Нормировка произведена по коэффициенту конверсии М-перехода 253 кэв.

Ж К - линия была подсчитана из интенсивности

$k_1$  - линии с использованием теоретических значений коэффициентов конверсии.  
ЖЖ Интенсивности  $\gamma$ -лучей определены из данных об интенсивностях конверсионных линий с использованием теоретических значений коэффициентов конверсии.

( ) Приписание этих переходов  $^{159}\text{Ho}$  предположительно.

слаб. - Линия слабая; линия наблюдается визуально, но определить ее интенсивность нельзя.  
слож. Спектр в районе, где должна быть указанная линия сложный.

Таблица № 2.  
Определение мультипольности  $\gamma$  - переходов, возникающих при распаде  $^{159}\text{Ho}$

E $\gamma$ кэв	Метод опреде- ления мульти- польнос- ти.	Экспери- менталь- ное зна- чение	Теоретические значения				Заключение о мультипольнос- ти
			E1	E2	M1	M2	
1	2	3	3	4	5	6	8
31,4	$k_1: k_{II}$	$2,0 \pm 0,5$	1,82	0,006	10,26	13,82	(E1), M+E2 (2,1%)
56,6	$k_1: k_{II}$	$5,0 \pm 1$	2,68	0,03	11,2	10,0	M1+E2(1,8 $\pm$ 0,6%)
	$k_{II}: k_{III}$	$1,0 \pm 0,2$	0,78	0,88	5,90	0,32	
79,9	K: $k_1$	$7,5 \pm 1,5$	10,0	10,92	7,37	4,25	M1+E2(6,1%), (E1)
	$k_1: k_{II}$	$3,3 \pm 1,0$	3,5	0,10	11,52	8,85	
100,6	K: $k_1$	$13,5 \pm 4$	9,63	10,85	7,34	4,72	E1, (M1+E2)
	$k_1: k_{II}$	$> 2,5$	4,37	0,19	11,76	8,78	
	K: $k_1$	$11 \pm 3$	9,40	10,45	7,35	5,02	
121,0	$k_1: k_{II}$	$6 \pm 2$	5,0	0,30	11,85	8,30	E1
	$k_{II}: k_{III}$	$0,7 \pm 0,3$	0,85	1,05	6,28	0,70	
132,0	K: $k_1$	$11 \pm 3$	9,25	10,1	7,35	5,15	E1
	$k_1: k_{II}$	$6 \pm 2$	5,32	0,35	11,90	8,20	
	$k_{II}: k_{III}$	$0,7 \pm 0,2$	0,83	1,43	6,30	0,80	
136,5	K: $k_1$	$\sim 16$	9,25	10,1	7,35	5,25	E2
	K: $k_{II}$	$4 \pm 1$	50,45	3,55	87,60	42,70	
	$k_1: k_{II}$	$\sim 0,25$	5,45	0,37	11,9	8,20	
173,1	K: $k_1$	$7,1 \pm 1,6$	9,00	9,65	7,35	5,57	M1
	$k_1: k_{III}$	$> 15$	5,65	0,66	78,60	8,41	

I	2	3	4	5	6	8
177,6	K: $k_1$ $10,5 \pm 3$ $k_I: k_{III} > 3$	8,97 5,80	9,63 0,68	7,35 79,0	5,60 8,51	EI
253	K: $k_1$ $10 \pm 2,5$ $k_I: k_{II} \sim 16$ $k_{II}: k_{III} > 6$	8,62 8,36 0,94	8,95 1,00 1,41	7,35 12,86 6,51	6,10 8,26 1,64	MI
309,6	K: $k_1$ $10 \pm 2,5$ $k_I: k_{II} \sim 18$ $k_{II}: k_{III} > 6$	8,50 9,41 0,94	8,66 1,33 1,55	7,35 13,25 6,55	6,30 8,41 2,05	MI

Таблица № 3

Данные о коэффициентах внутренней конверсии на N-оболочке  $\gamma$  - переходов в ядре  $^{159}\text{Dy}$

E <sub>γ</sub> кэВ	Γ <sub>κ</sub>	Γ <sub>γ</sub>	K <sub>эксп.</sub>	Коэффициенты конверсии, х 10 <sup>3</sup>			M2	Вывод о мульти- польности
				E1	E2	M1		
I	2	3	4	5	6	7	8	9
I21	300	2400	125±35	158	676	1200	8700	EI
I32	200	1400	143±40	126	537	935	6300	E1+M2 (< 1%)
(153,1)слаб.		} 150	100±40	85	355	610	3760	E1+M2 (< 2%)
155,9	15,0		≥ 580	83	340	580	3550	(M1)
159,2	27,0	≤ 50		76	312	537	3200	MI, E2
I73,1	50,0	150	330±100	62	251	427	2430	E1+M2 (< 1%)
I77,6	21,0	260	68±20	59	239	398	2190	E1+M2 (< 1%)
(185,7) ~ 1		} 130	54±20	52	200	347	1890	MI
186,2	5,0				52	200	347	1890
205,7	3,0	90	33±15	39	148	263	1010	E1+M2 (< 1%)
253,0	100,0	650	155	23	81	155	660	MI
258,8	12,0	80	150±50	21,9	75	146	620	MI+E2 (< 70%);
302,6	0,4	~ 15	~ 37	15	48	95	390	(E2)
309,6	90	870	100±30	13,6	44,7	90	346	MI+E2 (< 50%)

I	2	3	4	5	6	7	8	9
336,0	0,6	}60	40±15	11,2	36,0	73	267	(MI)
338,7	2,0			10,9	35,0	71	260	
395,4	0,4	20	20±10	7,6	22,9	45,7	158	E2, E2±MI
408,4	0,4	20	20±10	7,1	20,9	41,7	145	E2, E2±MI
460,5	0,5	30	15±8	5,37	15,3	30,5	100	E2, E2±MI
566,8	0,3	30	10±5	3,38	9,2	18,6	55	E2, E2±MI
588,9	0,7	45	14±7	3,10	8,2	17,0	49	E2, MI

Таблица 4  
Оценка пределов значений  $lg ft$  при распаде  $^{159}Ho$   
( $T_{1/2} = (1,98 \pm 0,06) \cdot 10^3$  на уровни  $^{159}Dy$ )

Энергия уровня $^{159}Dy$ кэВ	Характер перехода	Пределы	Энергия уровня $^{159}Dy$ кэВ	Характер перехода	Пределы
0	2 u	$lg ft < 7,7$	(242,3)	(2 u)	7,6
56,6	2 u	$lg ft < 7,7$	309,6	au	$4,1 < lg ft < 4,7$
136,5	2 u	$lg ft < 7,7$	395,3	au	$lg ft < 5,7$
177,6	I h	$6,6 < lg ft < 5,6$	544,9	-	$lg ft < 6,3$
209,0	I h	$7,2 < lg ft < 6,2$	(1107)	-	$lg ft < 5,4$

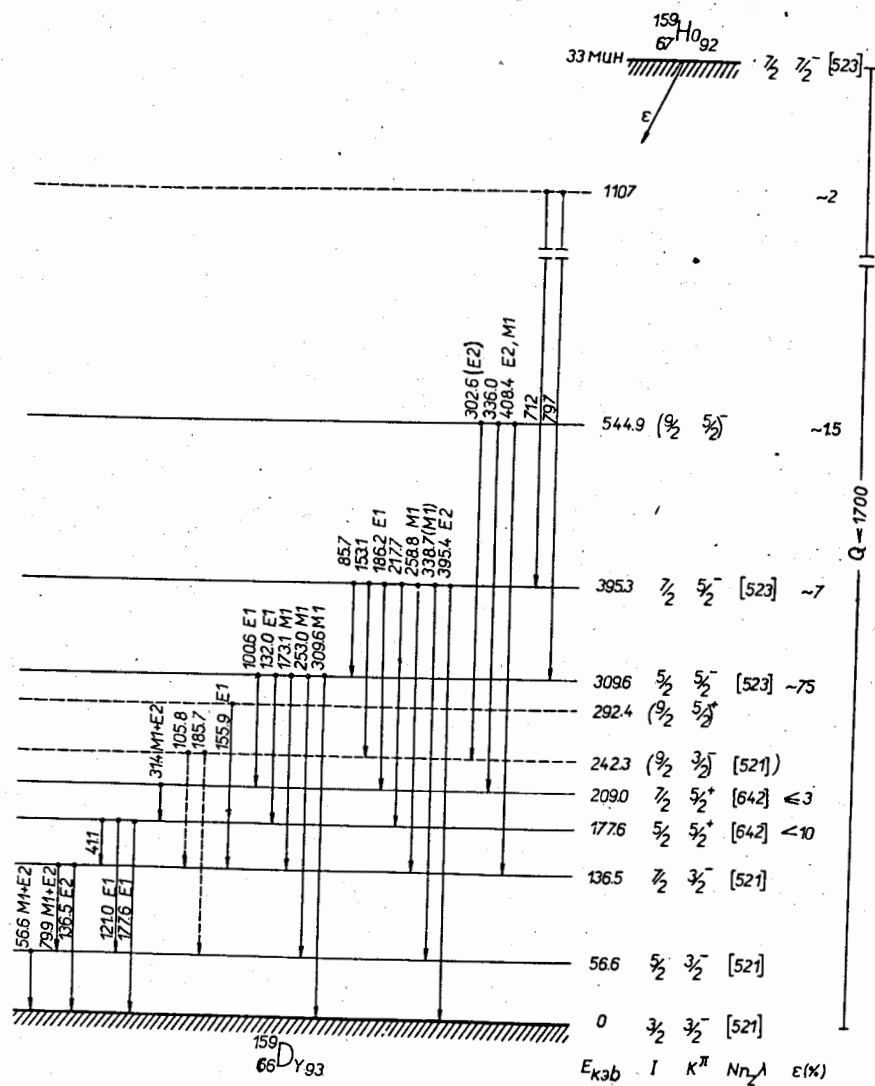


Рис. 2. Схема распада  $^{159}\text{Ho}$ .

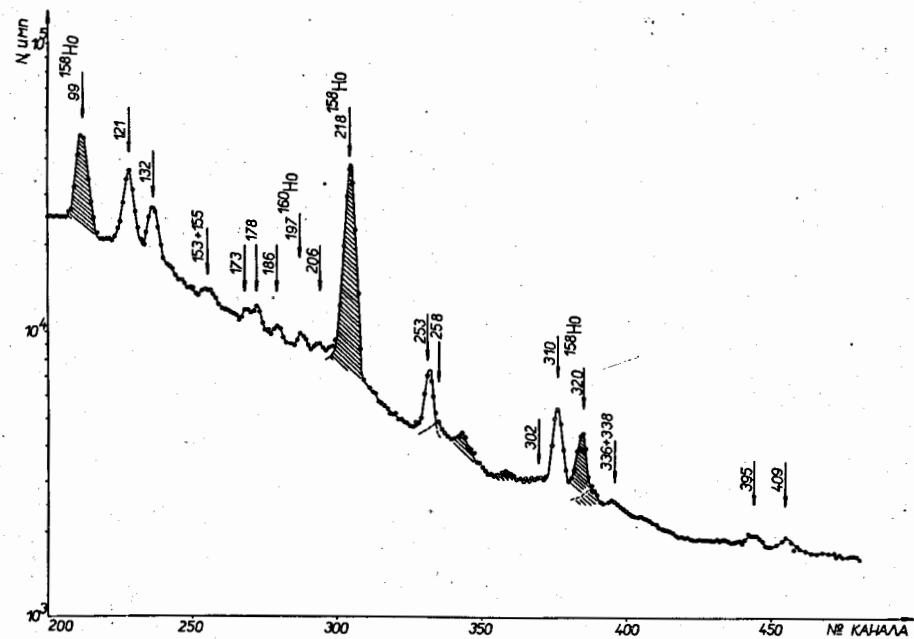


Рис. 1. Участок гамма-спектра  $^{159}\text{Ho}$  в интервале энергии 90-430 кэВ (заштрихованные участки гамма-спектра относятся к другим изотопам).