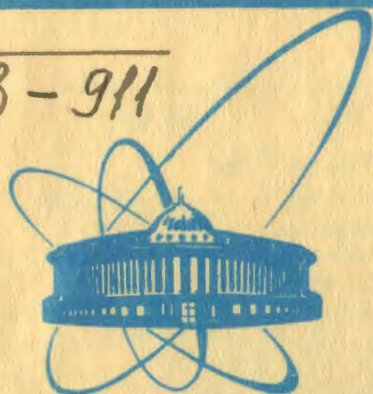


3-911



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

е  
7

2284/2-81

11/5-81

P6-81-22

К.Зубер,\* В.Г.Калинников, Ф.Пражак

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА  $^{154m}\text{Ho}$  И  $^{154}\text{Ho}$

\* Институт ядерной физики, Краков, ПНР

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопрос о свойствах ядер переходной области редкоземельных элементов приобретает все большую актуальность. Одним из ядер, принадлежащих к переходной области, является  $^{154}\text{Dy}$ , возбужденные состояния которого рассматриваются в настоящей работе. Возбужденные состояния  $^{154}\text{Dy}$  интенсивно изучались в последнее время методами ядерных реакций.

Ноймен и др. в <sup>1/</sup> возбуждали уровни ротационной полосы основного состояния до состояния с энергией 2305,5 кэВ со спином  $10^+$ , а также состояния  $\beta$ -вибрационной полосы со спином  $2^+$ ,  $4^+$  и  $6^+$ . Используя реакцию  $^{146}\text{Nd}(^{12}\text{C}, 4n)^{154}\text{Dy}$ , Крип и др. <sup>2/</sup> исследовали спектры  $\gamma$ - и  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений и ввели уровни ротационной полосы основного состояния до спина  $18^+$  с энергией 4692 кэВ. В следующей работе Банашиком и др. <sup>3/</sup> подтверждены результаты, полученные в предыдущих работах. Исследование возбужденных состояний  $^{154}\text{Dy}$ , возникающих при распаде  $^{154}\text{Ho}$ , было проведено в <sup>1/</sup> и <sup>4/</sup>. В работе <sup>1/</sup> введены уровни  $^{154}\text{Dy}$ , заселяемые при распаде  $^{154}\text{Ho}$  с  $T_{1/2} = 3,2$  мин, которые в основном совпали с уровнями, возбужденными в реакциях, за исключением нового уровня с энергией 2474 кэВ и спином  $7^+$ ,  $8^+$ . Распад  $^{154}\text{Ho}$  с  $T_{1/2} = 11,8$  мин изучался Шмидтом - Отто и др. <sup>4/</sup>. Этому распаду приписано 5 гамма-переходов. Настоящая работа посвящена исследованию возбужденных уровней  $^{154}\text{Dy}$  при распаде  $^{154}\text{Ho}$  с  $T_{1/2} = 3,2$  мин и  $T_{1/2} = 11,8$  мин.

## 1. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ

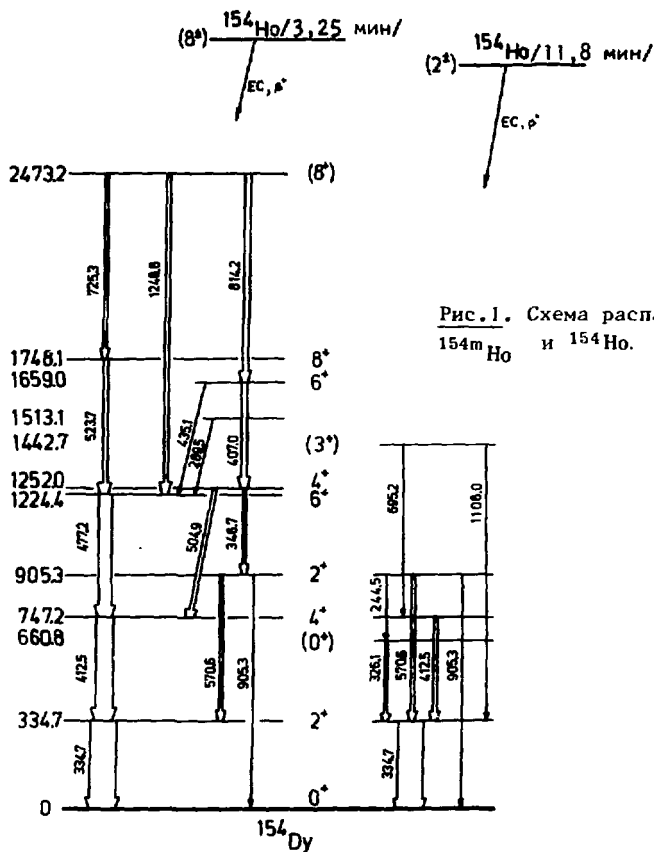
### 1.1. Радиоактивные источники $^{154m}\text{Ho}$ и $^{154}\text{Ho}$

Радиоактивные изотопы гольмия получались в реакции глубокого расщепления тантала протонами с энергией 660 МэВ на синхротронном ускорителе Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Танталовая мишень /вес 0,2 гр./ после 5 мин облучения на внешнем пучке протонов доставлялась к масс-сепаратору и разделялась по изобарам <sup>5/</sup> без химической обработки. Примеси других изотопов в источниках  $^{154}\text{Ho}$  составляли меньше 1%.

Таблица 1

Энергии и относительные интенсивности гамма-лучей при распаде  $^{154}\text{m}\text{Ho}$

| Настоящая работа                            |                                 | Работа [1]                                  |                  | Работа [4]                                  |                  |
|---|---------------------------------|---|------------------|---|------------------|
| $E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma}), \text{кэВ}$ | $I_{\gamma}(\Delta I_{\gamma})$ | $E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma}), \text{кэВ}$ | $I_{\gamma}(\%)$ | $E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma}), \text{кэВ}$ | $I_{\gamma}(\%)$ |
| 157.9(3)                                    | 2.1(6)                          | 157.8(2)                                    | 3.9(0.3)         | 158   | 3                |
| 280.1(4)                                    | 1.1(5)                          |   |                  |   |                  |
| 289.5(1)                                    | 4.1(4)                          | 289.2(2)                                    | 4.3(0.3)         | 289   | 3                |
| 295.7(1)                                    | 8.1(4)                          | 295.8(2)                                    | 12.8(0.5)        |   |                  |
| 301.0(2)                                    | 2.1(3)                          |   |                  |   |                  |
| 309.5(2)                                    | 3.6(3)                          | 310.3(2)                                    | 3.0(0.3)         | 310   | 2                |
| 334.7(1)                                    | 100                             | 334.7(2)                                    | 100              | 334.5(1)                                    | 100              |
| 346.7(1)                                    | 13.2(8)                         | 346.5(3)                                    | 12.5(1.0)        | 346.4(2)                                    | 13(2)            |
| 407.0(1)                                    | 19.1(14)                        | 407.0(3)                                    | 24.5(1.0)        | 406.8(1)                                    | 18(1)            |
| 412.5(1)                                    | 74.7(21)                        | 412.5(3)                                    | 84.0(4.0)        | 412.3(1)                                    | 74(3)            |
| 435.1(2)                                    | 2.5(4)                          | 434.9(4)                                    | 2.5(0.3)         | 435.3(10)                                   | 2(1)             |
| 443.4(2)                                    | 5.0(4)                          | 444.2(4)                                    | 5.1(0.5)         | 443.4(3)                                    | 5(1)             |
|   |                                 | 471.9(6)                                    | 2.5(0.4)         | 472   | 2                |
| 477.2(2)                                    | 52.0(32)                        | 477.4(4)                                    | 56.0(2.0)        | 477.1(1)                                    | 52(3)            |
| 504.9(3)                                    | 20.3(35)                        | 505.2(4)                                    | 16.2(0.7)        | 505.1(2)                                    | 25(4)            |
| 523.7(2)                                    | 16.5(13)                        | 523.8(4)                                    | 16.0(0.7)        | 523.9(2)                                    | 22(3)            |
| 570.6(1)                                    | 12.4(21)                        | 570.6(5)                                    | 10.0(2.0)        | 570.8(1)                                    | 12(1)            |
| 644.2(3)                                    | 1.2(3)                          |   |                  |   |                  |
| 661.4(2)                                    | 2.1(3)                          |   |                  |   |                  |
| 725.3(1)                                    | 11.1(8)                         | 726.5(7)                                    | 13.0(2.0)        | 725.6(1)                                    | 14(2)            |
| 733.1(2)                                    | 3.4(5)                          |   |                  |   |                  |
| 740.9(3)                                    | 2.4(6)                          |   |                  |   |                  |
| 814.2(1)                                    | 11.8(12)                        | 815.0(7)                                    | 13.0(3.0)        | 814.9(3)                                    | 12(2)            |
| 905.3(1)                                    | 3.5(7)                          | 906.0(10)                                   | 1.5(0.5)         | 906(1)                                      | 3(1)             |
|   |                                 |   |                  | 911(1)                                      | 1                |
| 959.6(3)                                    | 2.1(5)                          |   |                  |   |                  |
| 968.5(4)                                    | 1.7(5)                          |   |                  |   |                  |
| 993.3(2)                                    | 4.4(5)                          |   |                  |   |                  |
| 1248.8(1)                                   | 16.2(14)                        | 1249.5(10)                                  | 16.0(20)         | 1250.5(1)                                   | 19(3)            |



## 1.2. Исследование спектров гамма-лучей

Спектры гамма-лучей  $^{154m}\text{Ho}$  и  $^{154}\text{Ho}$  исследовались с помощью спектрометра с  $^7\text{Ge}(\text{Li})$ -детектором с чувствительным объемом  $27 \text{ см}^3 / \Delta E_\gamma = 3,0 \text{ кэВ}$  при  $E_\gamma = 1332 \text{ кэВ} - ^{60}\text{Co} /$ .

Измерения гамма-лучей, возникающих при распаде изомерного и основного состояний  $^{154}\text{Ho}$ , проводились совместно, поэтому анализ был затруднен. Идентификация принадлежности линий к распаду изомерного или основного состояния проводилась по спаду интенсивности  $\gamma$ -излучения. В том и другом случаях для

нормировки интенсивностей принято, что интенсивность  $\gamma$ -лучей перехода с энергией 334,7 кэВ равна 100 ед.

В табл. 1 приведены полученные в настоящей работе экспериментальные данные об энергиях и относительных интенсивностях гамма-лучей  $^{154}\text{m}\text{Ho}$ , которые сравниваются с результатами работ /1,4/. В табл. 2 приведены полученные нами сведения о распаде  $^{154}\text{Ho}$ .

Таблица 2

Энергии и относительные интенсивности гамма-лучей при распаде  $^{154}\text{Ho}$

| $E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma})$ кэВ | $I_{\gamma}(\Delta I_{\gamma})$ | $E_{\gamma}(\Delta E_{\gamma})$ кэВ | $I_{\gamma}(\Delta I_{\gamma})$ |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 244.5(5)                            | $\sim 1.0$                      | 729.8(1)                            | 2.0(2)                          |
| 326.1(1)                            | 6.4(4)                          | 798.8(2)                            | 1.1(2)                          |
| 334.7(1)                            | 100                             | 846.8(2)                            | 0.9(2)                          |
| 346.7(1)                            | 0.9(4)                          | 873.3(1)                            | 14.0(10)                        |
| 407.0(1)                            | 0.5(2)                          | 905.3(1)                            | 1.7(4)                          |
| 412.5(1)                            | 19.5(25)                        | 985.2(3)                            | 0.7(2)                          |
| 428.9(2)                            | 0.9(2)                          | 999.8(1)                            | 4.0(3)                          |
| 461.0(2)                            | 0.9(1)                          | 1027.2(1)                           | 5.9(5)                          |
| 485.3(2)                            | 0.9(2)                          | 1052.5(7)                           | 0.4(2)                          |
| 511.0                               | 25.5(5)                         | 1055.7(3)                           | 1.1(2)                          |
| 570.6(1)                            | 12.5(2)                         | 1072.1(3)                           | 0.8(2)                          |
| 587.5(1)                            | 0.9(2)                          | 1085.9(2)                           | 1.6(2)                          |
| 692.6(1)                            | 5.8(4)                          | 1108.0(2)                           | 0.7(1)                          |
| 695.2(1)                            | 1.9(2)                          | 1156.7(3)                           | 0.7(2)                          |
|                                     |                                 | 1173.2(1)                           | 1.7(2)                          |

### 1.3. Исследование спектров гамма-гамма-совпадений

Спектры гамма-гамма-совпадений исследовались на установке с двумя  $\text{Ge(Li)}$ -детекторами с чувствительными объемами  $41 \text{ см}^3$ /разрешение 2,5 кэВ для  $E_{\gamma} = 1332 \text{ кэВ} - ^{60}\text{Co}$  / и  $27 \text{ см}^3$ /разрешение 3,0 кэВ для  $E_{\gamma} = 1332 \text{ кэВ}$ /. При проведении экспериментов ширина временного окна выбиралась равной 50 нс. Информация записывалась на ЭВМ HP -2116С на магнитную ленту. Сортировка и анализ информации производились после окончания эксперимента. Результаты исследования гамма-гамма-совпадений сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты анализа спектров  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений при распаде  $^{154m}\text{Ho}$  и  $^{154}\text{Ho}$

| Окно<br>E $\gamma$ , кэВ | Энергии гамма - переходов, наблюдаемых<br>в совпадениях, кэВ |       |       |       |       |       |
|--------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 289.5                    | 334.7  | 412.5 | 477.2 |       |       |       |
| 309.3                    | 334.7  | 412.2 |       |       |       |       |
| 326.1                    | 334.7  |       |       |       |       |       |
| 334.7                    | 295.7 <sup>x/</sup>  | 326.1 | 346.7 | 407.0 | 412.5 | 435.1 |
|                          | 443.4  | 477.2 | 504.9 | 523.7 | 570.6 |       |
| 346.7                    | 334.7  | 407.0 | 570.6 |       |       |       |
| 407.0                    | 334.7  | 346.7 | 412.5 | 504.9 | 570.6 |       |
| 412.5                    | 334.7  | 407.0 | 477.2 | 504.9 | 523.7 |       |
| 443.4                    | 334.7 <sup>x/</sup>  |       |       |       |       |       |
| 477.2                    | 334.7  | 412.5 | 523.7 |       |       |       |
| 504.9                    | 334.7  | 407.0 | 412.5 |       |       |       |
| 523.7                    | 334.7  | 412.5 | 477.2 |       |       |       |
| 570.6                    | 334.7  | 346.7 | 407.0 |       |       |       |

<sup>x/</sup> Переходы не размещены в схеме уровней.

## 2. СХЕМА РАСПАДА $^{154m}\text{Ho}$ и $^{154}\text{Ho}$

Предлагаемая схема распада изомерного и основного состояний  $^{154}\text{Ho}$  изображена на рис. 1. Уровни  $^{154}\text{Dy}$ , заселяемые при распаде изомера с  $T_{1/2} = 3,25$  мин, введены на основе  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадений и находятся в хорошем согласии с результатами работы [1]. Спины и четности уровней заимствованы из работ [1] и [2]. На основе совпадений перехода 289,5 кэВ с переходами 334,7; 412,5 и 477,2 кэВ введен новый уровень с энергией 1513,1 кэВ. Исходя из данных о  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадениях /  $^{154}\text{Ho}$  с  $T_{1/2} = 11,8$  мин/, мы ввели новый уровень с энергией 660 кэВ. Ядро  $^{154}\text{Dy}$  является аналогом  $^{152}\text{Gd}$  /  $Z=64$ ,  $N=88$ /. Из сравнения свойств этих ядер /рис. 2/ можно заключить, что уровень с энергией 660,8 кэВ имеет, по всей вероятности, спин и четность  $0^+$ .

Новый уровень с энергией 1442,7 кэВ введен на основе сумм энергий гамма-переходов.

В работе Бовмана и др. [6] в  $^{152}\text{Gd}$  найдены уровни с энергией 1433,9; 1861,7 и 2394,5 кэВ и со спином и четностью  $3^+$ ,  $15^+$

|                             |                             |                             |                             |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                             | 1747 6'                     | 1748 6'                     | 1725 10'                    |                             |                             |
|                             | 1668 6'                     | 1738 6'                     |                             | 1520 10'                    | 1564 6'                     |
| 1648 4'                     |                             |                             | 1437 8'                     |                             | 1426 10'                    |
| 1278 6'                     | 1227 6'                     | 1224 6'                     | 1215 6'                     |                             | 1280 4'                     |
|                             | 1202 4'                     | 1252 4'                     |                             |                             | 1275 0'                     |
| 1046 2'                     |                             |                             | 1088 4'                     | 1044 6'                     | 1064 2'                     |
|                             | 930 2'                      | 905 2'                      |                             | 991 0'                      | 966 8'                      |
| 773 4'                      | 757 4'                      | 747 4'                      | 770 6'                      | 826 2'                      |                             |
| 740 0'                      |                             | 660 0'                      | 675 0'                      | 638 6'                      | 581 6'                      |
|                             | 615 0'                      |                             |                             |                             |                             |
| 334 2'                      | 344 2'                      | 334 2'                      | 404 4'                      | 317 4'                      | 283 4'                      |
|                             |                             |                             | 137 2'                      |                             |                             |
| 0 0'                        | 0 0'                        | 0 0'                        | 0 0'                        | 99 2'                       | 66 2'                       |
|                             |                             |                             |                             | 0 0'                        | 0 0'                        |
| $^{150}_{62}\text{Sm}_{88}$ | $^{152}_{64}\text{Gd}_{88}$ | $^{154}_{66}\text{Dy}_{88}$ | $^{156}_{66}\text{Dy}_{90}$ | $^{158}_{66}\text{Dy}_{92}$ | $^{160}_{66}\text{Dy}_{94}$ |

Рис. 2. Сравнение возбужденных уровней в ядрах Sm, Gd и Dy.

и /7+ / соответственно. На основании сравнения с этим ядром для уровня  $^{154}\text{Dy}$  с энергией 1442,7 кэВ мы предлагаем спин и четность  $3^+$ .

На основе сумм энергий можно ввести уровень с энергией 1208,1 кэВ /не помещен на рис. 1/, а именно:

$$747,2/4+ / \text{ кэВ} + 461,0 \text{ кэВ} = 1208,2 \text{ кэВ},$$

$$334,7/2+ / \text{ кэВ} + 873,3 \text{ кэВ} = 1208,0 \text{ кэВ}.$$

По аналогии с другими ядрами с  $N=88$  уровень с такой энергией в  $^{154}\text{Dy}$  должен иметь спин  $1^{\pi} = 3^{-}$ .

Сильное заселение уровней с энергией 747,2 кэВ / $1^{\pi} = 4+ /$  и 1442,7 кэВ /по всей вероятности, со спином  $1^{\pi} = 3+ /$  приводит нас к выводу, что спин основного состояния  $^{154}\text{Ho}$  / $T_{1/2} = 11,8 \text{ мин} /$   $I \geq 2$ .

У основного состояния  $^{152}\text{Tb}$  /ядро с  $N=87 /$  известен спин  $1^{\pi} = 2^{-}$ . Этот факт дополнительно подкрепляет наше мнение.

Екстрем и др. /7/, используя метод атомных пучков, измерили спин  $^{154}\text{Ho}$  и привели для него значение  $I=1$ , что противоречит только что высказанному мнению. Заметим, что результаты измерений, выполненных группой Екстрема для слабдеформирован-

ных ядер, в ряде случаев не согласуются с принятыми значениями спинов.

Предложенная нами схема распада  $^{154m,8}\text{Ho}$  согласуется в основном с результатами недавно опубликованной работы <sup>18</sup>, в которой исследованы  $\gamma$ -излучение и электроны конверсии  $^{154m,8}\text{Ho}$ . В частности, сообщается о наблюдении в  $^{154}\text{Dy}$  E0-переходов с уровней 660,8 и 1057,9 кэВ. Состоянию  $^{154}\text{Ho}$  приписаны  $I^\pi = 3^+$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ward D., Neiman M. Nucl.Phys., 1968, A115, p. 529.
2. Krien K. et al. Nucl.Phys., 1973, A209, p. 572.
3. Banaschik M.V. et al. Nucl.Phys., 1974, A222, p. 459.
4. Schmidt-Ott W.D. et al. Phys.Rev., 1974, C10, p. 296.
5. Latuszynski A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1974, 120, p. 321.
6. Bowman W.W., Sugihara T.T., Hamiter F.R. Phys.Rev., 1971, C3, p. 1275.
7. Ekström C. et al. Nucl.Phys., 1969, A135, p. 289.
8. Zolnowski D.R. et al. Phys.Rev., 1980, c. 21, p.2556.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 января 1981 года.