

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

С 341.1

3-436

И. Звольски

1700

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО
РАСПАДА ИЗОТОПОВ Ho^{160} , Dy^{157} , Dy^{155} , Dy^{153} и Dy^{152} .

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1964

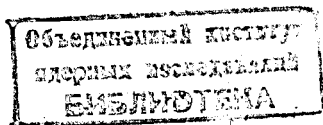
СЗ41.1
3-436

И. Звольски

1700

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО
РАСПАДА ИЗОТОПОВ Ho^{160} , Dy^{157} , Dy^{155} , Dy^{153} и Dy^{152} .

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук



Дубна 1964

Настоящая работа посвящена изучению радиоактивного распада нейтрондефицитных ядер ^{160}Dy , ^{157}Dy , ^{155}Dy , ^{153}Dy и ^{152}Dy и соответствующих дочерних изотопов ^{160}Tb , ^{157}Tb , ^{155}Tb , ^{153}Tb и ^{152}Tb .

По общей систематике и на основании наших данных можно считать ядра ^{160}Dy , ^{157}Dy , ^{155}Dy и ^{153}Dy сильно деформированными ($\delta = \frac{\Delta R}{R} = 0,3$). Ядра ^{155}Dy , ^{153}Dy , ^{152}Dy находятся или на границе (^{155}Dy) или за границей области сильной деформации.

Нашей целью являлось: 1) получение новых и более полных сведений об этих ядрах; 2) проверка и уточнение имеющихся данных и 3) сопоставление экспериментальных результатов с предсказаниями отдельных моделей, примененных к исследуемым ядрам.

Часть 1. Изучение распада $^{160}\text{No} \rightarrow ^{160}\text{Dy}$

При распаде ^{160}No возбуждается большое количество уровней ^{160}Dy различной природы. Первая схема распада ^{160}No была предложена Григорьевым и др. на основании изучения конверсионных электронов ^{160}No и пополнена в работе Целью наших исследований являлась проверка и уточнение этой схемы методом e^+e^- совпадений.

Опыты по совпадениям между конверсионными электронами велись при помощи двойного линзового β -спектрометра с приборным разрешением $R \sim 3,5\%$. Было доказано существование 28 каскадов переходов, происходящих между уровнями ^{160}Dy в области энергий возбуждения < 1910 кэв. На рис. 1 показан изучавшийся нами участок схемы возбужденных уровней ^{160}Dy , возникающих при распаде ^{160}No . Каскады переходов, существование которых было доказано нашими опытами, обозначены жирными линиями. Анализ скоростей счета совпадений позволил проверить правильность расположения отдельных переходов в схеме распада ^{160}No и в некоторых случаях дал возможность решить, какой из возможных вариантов расположения переходов соответствует действительности. На основании этого анализа были сделаны следующие выводы:

1. Можно считать доказанным, что при распаде ^{160}No возбуждаются ротационные уровни $581,4$ (6^+ , $K = 0$) и 1289 кэв (5^+ , $K = 2$).

2. Из наших опытов следует, что переход $405,7$ кэв осуществляется, по крайней

мере, частично ($\geq 40\%$), между уровнями 1695,0(4⁺) и 1289 кэв (5⁺) и что размещение перехода 754,5 кэв между уровнями 1909 и 1156,4 кэв более вероятно, чем между уровнями 1695,0 и 966,5 кэв.

3. Из анализа совпадений электронов K298 вытекает, что линия K298 – тройная. Наиболее интенсивная компонента ($\sim 70\%$) возникает при переходе между уровнями нижней ротационной полосы 581,4(6⁺) и 283,7 кэв (4⁺). Остальные две компоненты относятся к переходам, расположенным в верхней части схемы: один из них между уровнями 1264,9 (2⁻) и 966,5 (2⁺), второй, вероятно, между уровнями 1563 и 1264,9 кэв (2⁻).

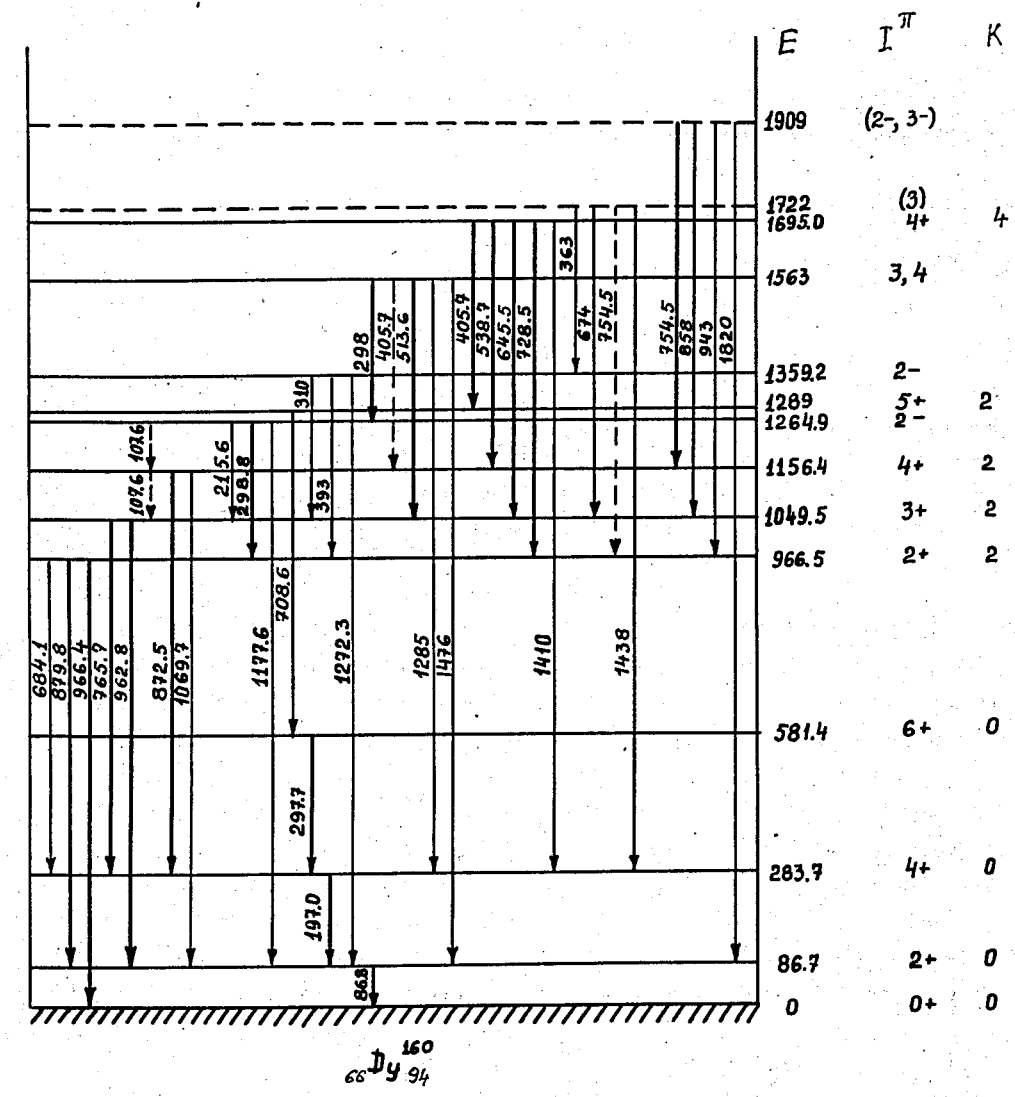
4. Наши опыты подтверждают, что при распаде ^{160}Dy возбуждаются уровни 966,5 (2⁺), 1049,5(3⁺) и 1156,4(4⁺), принадлежащие к одной ротационной полосе с K = 2. Результаты наших измерений подтверждают также существование уровня 1695,0 кэв двух квазичастичного характера и не противоречат предположению, что при распаде ^{160}Dy возбуждается состояние с энергией 1909 кэв.

Результаты наших исследований распада ^{160}Dy были опубликованы в работе /4/ и докладывались на II и III совещаниях по нейтрондефицитным изотопам в Дубне /5,6/ и на X ежегодном совещании по ядерной спектроскопии в Москве /7/.

Часть II. Изучение распада изотопов диспрозия с массовыми числами A = 157, 155, 153 и 152

Радиоактивным препаратом для изучения распада нейтрондефицитных изотопов Dy^{157} , Dy^{155} , Dy^{153} и Dy^{152} служила фракция диспрозия, выделенная из тантала, облученного быстрыми протонами ($E_p = 880$ Мэв). Спектр конверсионных электронов исследовался при помощи β -спектрометра с двойной фокусировкой на угол $\pi\sqrt{2}$ с приборным разрешением 0,13-0,33 (в зависимости от выбора диафрагм) /8/. Применявшийся для измерения магнитного поля в спектрометре метод ядерного магнитного резонанса позволял определять энергии изучавшихся конверсионных электронов с точностью не хуже 0,1%. Изучение совпадений между конверсионными электронами проводилось при помощи сдвоенного линзового β -спектрометра ($R = 3,5\%$) /3/.

При исследовании конверсионного спектра диспрозиевой фракции было изучено 220 конверсионных линий, относящихся к 125 переходам, возникающим при распаде Dy^{157} , Dy^{155} , Dy^{153} и Dy^{152} в соответствующие изотопы тербия /9,10/. Из общего числа переходов, изучавшихся в настоящей работе, 90 переходов было обнаружено впервые. Впервые даны и относительные интенсивности всех конверсионных электронов Dy^{153} . Сравнительно высокая разрешающая способность используемого β -спектрометра дала возможность в области энергий < 300 кэв оценить отношения интен-



Р и с. 1. Изучавшийся участок схемы уровней ^{160}Dy , возникающих при распаде ^{160}Dy . Жирными линиями обозначены переходы выделенных нами каскадов.

интенсивностей L_I , L_{II} и L_{III} - конверсионных электронов для 18 переходов. На основании этих данных и также данных о значениях K/L и относительных интенсивностях γ -лучей /11/ были определены мультипольности 30 переходов (в 25 случаях впервые).

Методом $e^- - e^-$ -совпадений было установлено существование 18 каскадов переходов, совершающихся между уровнями изотопов тербия /12,13/.

В работе исследовались также конверсионные электроны Tb^{152} . Было изучено 59 конверсионных линий, принадлежащих 39 переходам. Данные о 17 переходах получены в настоящей работе впервые /14,15/.

На основании полученных данных о изотопах диспрозия были сделаны следующие выводы:

1. Распад $Dy^{157} \rightarrow Tb^{157}$.

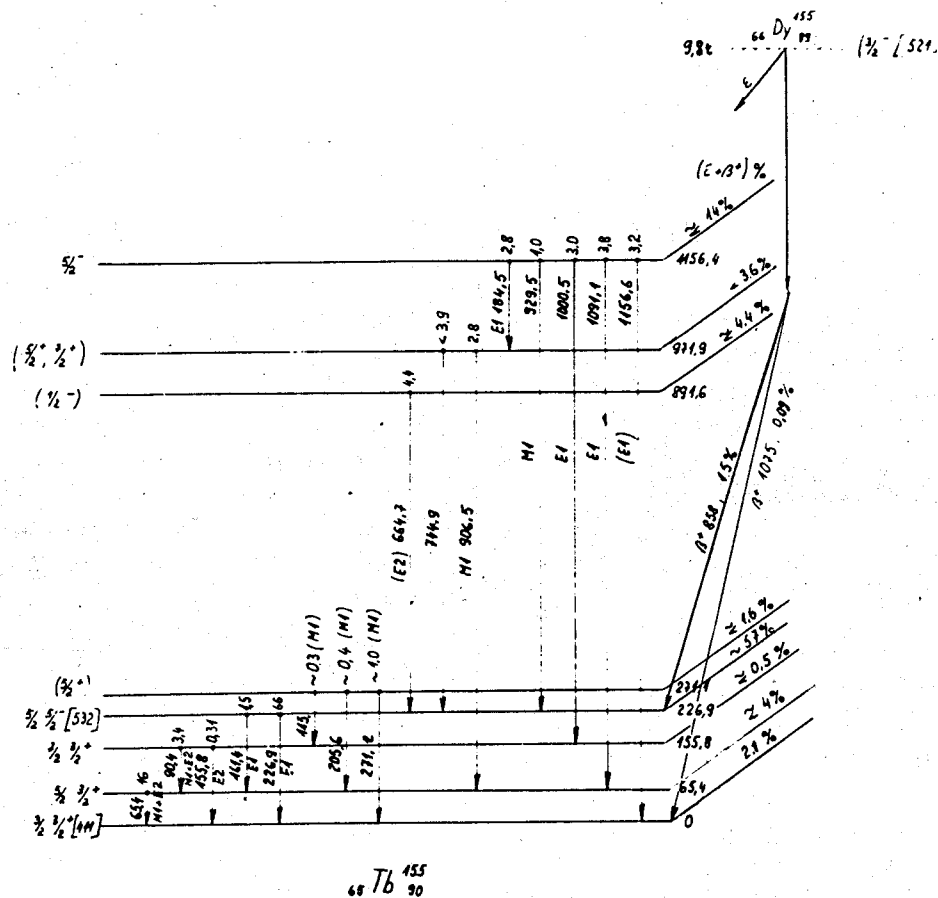
Изучением конверсионных электронов, возникающих при распаде $Dy^{157} \rightarrow Tb^{157}$ методом $e^- - e^-$ -совпадений была доказана правильность схемы распада Dy^{157} , предложенной в работе /16/ по энергетическому балансу переходов. Проведенный анализ экспериментальных данных и их сопоставление с теоретическими предсказаниями показывают применимость обобщенной модели к ядру Dy^{157} . Необъясненным остается отступление от правил интенсивностей при разрядке уровня 326,4 ($5/2^- / 523/$) переходами на уровни ротационной полосы основного состояния Tb^{157} ($3/2^+ / 411/$).

2. Распад $Dy^{155} \rightarrow Tb^{155}$.

Изучение совпадений между конверсионными электронами, возникающими при распаде $Dy^{155} \rightarrow Tb^{155}$, подтвердило существование ротационной полосы основного состояния Tb^{155} и существование уровней с энергиями 226,9 и 271,1 кэВ, предсказанных по энергетическому балансу в работе /17/.

Опыты, проведенные с источником чистого Dy^{155} , выделенного повторно из фракции хольмия /9,10/, дали возможность однозначно идентифицировать среди конверсионных электронов 35 новых электронных линий Dy^{155} , принадлежащих 25 переходам с энергиями < 1170 кэВ. Для 13 наиболее интенсивных переходов были оценены мультипольности и 7 из них помещено в схему распада Dy^{155} . Схема уровней была пополнена уровнями с энергиями 971,9 и 1156,4 кэВ ($5/2^-$) (см. рис. 2) /9/.

Анализ экспериментальных данных показал, что в области энергий возбуждения $Tb^{155} < 227$ кэВ (уровни 65,4 ($5/2^+$), 155,8 ($7/2^+$) и 226,9 кэВ ($5/2^-$)) наблюдается согласие с многими предсказаниями обобщенной модели. Имеются и отступления от правил интенсивностей при разрядке уровня 226,9 кэВ ($5/2^- / 523/$) на ротационные уровни основного состояния ($3/2^+ / 411/$), аналогичные вышеуказанным отступлениям в Tb^{157} .



Р и с. 2. Схема распада Dy^{155} .

Для уровней с энергиями > 227 кэВ квантовые характеристики определены однозначно в случае уровня $1158,4$ кэВ ($5/2^-$). Этот уровень нельзя интерпретировать в рамках одночастичных уровней диаграммы Нильссона и его природа пока не ясна. Не исключено, что он коллективной или трехквaziчастичной природы.

Согласно значению $\log ft$ для β^- -превращения на уровни ротационной полосы основного состояния ($3/2^+ / 411/$) и на уровень $228,9$ кэВ ($5/2^- / 523/$) кажется вероятным, что основное состояние $^{155}_{66} Dy_{89}$ является состоянием $3/2^- / 521/$ диаграммы Нильссона и связано, по-видимому, с уменьшением ядерной реформации.

3. Распад $^{153}_{66} Dy \rightarrow ^{153}_{78} Tb$.

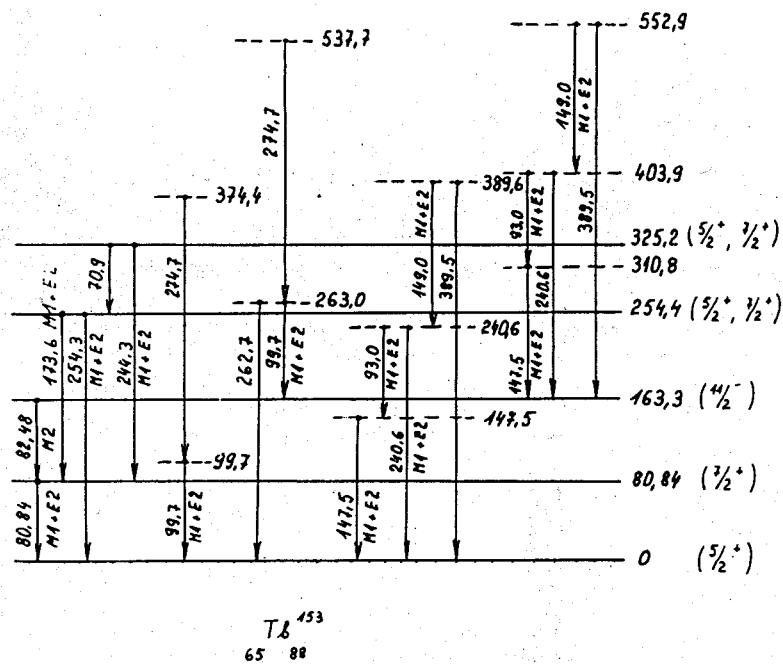
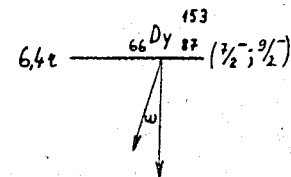
В конверсионном спектре диспрозиевой фракции в области энергий < 545 кэВ мы наблюдали 69 линий (из них 41 впервые), соответствующих 22 переходам, интенсивности которых убывали в пределах погрешностей с одинаковыми периодами полураспада (6,4 час). На основании изучения нарастания активности дочернего $^{153}_{78} Tb$ было показано, что эти переходы возникают при распаде $^{153}_{66} Dy \rightarrow ^{153}_{78} Tb$. В II случаях были установлены мультипольности переходов. На основании данных о точных энергиях переходов, их интенсивностях I_{β} и мультипольностях L и результатов $e^- - e^-$ -совпадений $^{153}_{66} Dy$ была предложена схема распада $^{153}_{66} Dy$ (рис. 3). Предполагая, что основное состояние $^{153}_{78} Tb$ имеет квантовые характеристики $5/2^+$, мы определили последовательность квантовых характеристик возбужденных уровней $^{153}_{78} Tb$ с энергиями $80,84 (7/2^+)$, $163,3 (11/2^-)$, $254,4 (5/2^+ \text{ или } 7/2^+)$ и $325,2$ кэВ ($5/2^+ \text{ или } 7/2^+$).

В то время как свойства $^{153}_{78} Tb$ и $^{153}_{78} Tb$ описываются удовлетворительно обобщенной моделью, полученные данные о распаде $^{153}_{66} Dy \rightarrow ^{153}_{78} Tb$ показывают, что ядро $^{153}_{66} Tb_{88}$ не является сильно деформированным. Последовательность квантовых характеристик нижних уровней $^{153}_{78} Tb$ 0 кэВ ($5/2^+$), $80,84$ кэВ ($7/2^+$) и $163,3$ кэВ ($11/2^-$) можно интерпретировать наиболее просто в рамках оболочечной модели. В этом отношении ядро $^{153}_{66} Tb_{88}$ ведет себя как ядро со сферически симметричной равновесной формой. Аналогичная последовательность уровней с квантовыми характеристиками $5/2^+$, $7/2^+$ и $11/2^-$ наблюдается и у ядер $^{151}_{63} Eu$, $^{149}_{63} Eu$ и $^{147}_{63} Eu$, также находящихся вне области сильной деформации.

4. Распад $^{152}_{66} Dy \rightarrow ^{152}_{78} Tb$.

В спектре конверсионных электронов диспрозиевой фракции наблюдались линии перехода $h\nu = 257,0$ кэВ, возникающего при распаде $^{152}_{66} Dy \rightarrow ^{152}_{78} Tb$.

В настоящей работе установлено, что переход γ $257,0$ типа $M1+E2$ или $E1$. Из сравнения интенсивности электронов $K257,0$ $^{152}_{66} Dy$ с активностью дочернего $^{152}_{78} Tb$ была проведена оценка интенсивности перехода $257,0$ кэВ в процентах на распад



Р и с. 3. Схема распада $^{153}_{66} Dy$. Пунктиром обозначены уровни принадлежащие разным вариантам размещения переходов с энергиями 99,7; 147,5; 149,0; 240,6; 274,7 и 389,5 кэВ, не противоречащие экспериментальным данным.

сивностей L_I , L_{II} и L_{III} -конверсионных электронов для 18 переходов. На основании этих данных и также данных о значениях K/L и относительных интенсивностях γ -лучей^{/11/} были определены мультипольности 30 переходов (в 25 случаях впервые).

Методом $e^- - e^-$ -совпадений было установлено существование 18 каскадов переходов, совершающихся между уровнями изотопов тербия^{/12,13/}.

В работе исследовались также конверсионные электроны Tb^{152} . Было изучено 59 конверсионных линий, принадлежавших 39 переходам. Данные о 17 переходах получены в настоящей работе впервые^{/14,15/}.

На основании полученных данных о изотопах диспрозия были сделаны следующие выводы:

1. Распад $Dy^{157} \rightarrow Tb^{157}$.

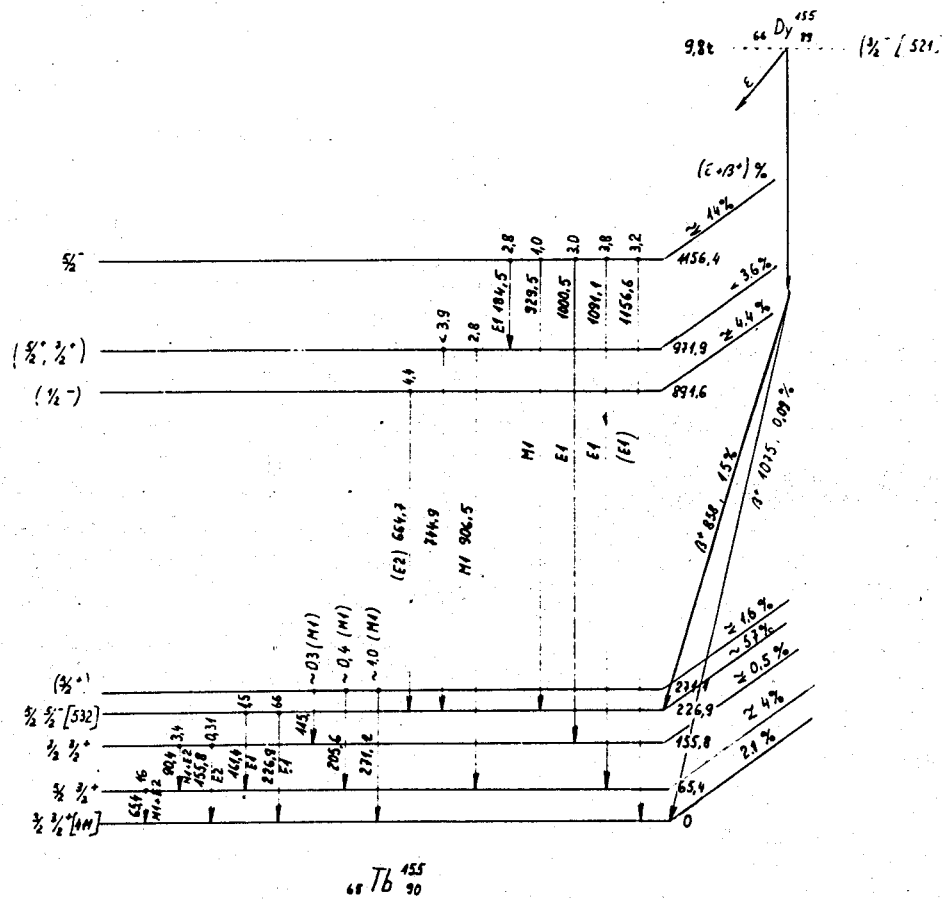
Изучением конверсионных электронов, возникающих при распаде $Dy^{157} \rightarrow Tb^{157}$ методом $e^- - e^-$ -совпадений была доказана правильность схемы распада Dy^{157} , предложенной в работе^{/16/} по энергетическому балансу переходов. Проведенный анализ экспериментальных данных и их сопоставление с теоретическими предсказаниями показывают применимость обобщенной модели к ядру Dy^{157} . Необъясненным остается отступление от правил интенсивностей при разрядке уровня 326,4 (5/2- /523/) переходами на уровни ротационной полосы основного состояния Tb^{157} (3/2+ /411/).

2. Распад $Dy^{155} \rightarrow Tb^{155}$.

Изучение совпадений между конверсионными электронами, возникающими при распаде $Dy^{155} \rightarrow Tb^{155}$, подтвердило существование ротационной полосы основного состояния Tb^{155} и существование уровней с энергиями 226,9 и 271,1 кэВ, предсказанных по энергетическому балансу в работе^{/17/}.

Опыты, проведенные с источником чистого Dy^{155} , выделенного повторно из фракции хольмия^{/9,10/}, дали возможность однозначно идентифицировать среди конверсионных электронов 35 новых электронных линий Dy^{155} , принадлежавших 25 переходам с энергиями < 1170 кэВ. Для 13 наиболее интенсивных переходов были оценены мультипольности и 7 из них помещено в схему распада Dy^{155} . Схема уровней была пополнена уровнями с энергиями 971,9 и 1156,4 кэВ (5/2-) (см. рис. 2)^{/9/}.

Анализ экспериментальных данных показал, что в области энергий возбуждения Tb^{155} < 227 кэВ (уровни 65,4 (5/2+), 155,8 (7/2+) и 226,9 кэВ (5/2-)) наблюдается согласие с многими предсказаниями обобщенной модели. Имеются и отступления от правил интенсивностей при разрядке уровня 226,9 кэВ (5/2- /523/) на ротационные уровни основного состояния (3/2+ /411/), аналогичные вышеуказанным отступлениям в Tb^{157} .



Р и с. 2. Схема распада Dy^{155} .

Dy¹⁵² (~ 13 или ~ 77% в предположении, что у 257,0 типа M1+E2 или E1 соответственно).

На основе данных о распаде Dy¹⁵² → Tb¹⁵² → Gd¹⁵² обсуждаются возможные квантовые характеристики основного состояния Tb¹⁵² и его предполагаемого уровня с энергией 257,0 кэВ.

Принимая во внимание кроме наших данных и данные о γ -лучах Dy¹⁵²/18/ и Tb¹⁵²/19/, можно сделать вывод, что наиболее вероятным значением спина основного состояния Tb¹⁵² является 1 и уровень 257,0 кэВ - 0 или 1.

Результаты наших исследований изотопов диспрозиевой фракции были опубликованы в работах /9,10,12-15/ и докладывались на IX, X, XII и XIII ежегодных совещаниях по ядерной спектроскопии и на III и IV совещаниях по нейтронодефицитным изотопам в Дубне.

Л и т е р а т у р а

1. Е.П. Григорьев, Б.С. Джелепов, А.В. Золотавин, О.Е. Крафт, Б. Крацик, Л.К. Пекер. Изв. АН СССР, 22, 101 (1958).
2. Е.П. Григорьев, Б.С. Джелепов, А.В. Золотавин, Б. Крацик, Г. Биттерлих. Изв. АН СССР, сер. физ., 23, 868 (1959).
3. В.А. Сергиенко. Изв. АН СССР. Сер. физ. 22, 198 (1958).
4. Б.С. Джелепов, И. Звольский, В.А. Сергиенко. Изв. АН СССР. Сер. физ., 25, 1228 (1961).
5. А. Горжак, Б.С. Джелепов, И. Звольский, В.А. Сергиенко. Материалы второго совещания по нейтронодефицитным изотопам. Дубна 1959 г. Препринт ОИЯИ 483 (1959) стр. 30.
6. Б.С. Джелепов, И. Звольский, М.К. Никитин, В.А. Сергиенко. Материалы третьего совещания по нейтронодефицитным изотопам. т. 1 Препринт ОИЯИ 613, Дубна 1960 г. стр. 197.
7. А. Горжак, Б.С. Джелепов, И. Звольский, В.А. Сергиенко, Программа и тезисы докладов X ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Москве. Издат АН СССР. М.-Л. 1960 г. стр. 81.
8. Е.П. Григорьев. Диссертация ЛГУ, Ленинград 1961 г. В. Звольска, Диссертация ОИЯИ, Дубна 1963 г.
9. Б.С. Джелепов, В. Звольска, И. Звольский. Программа и тезисы докладов XII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Ленинграде. М.-Л. 1962 г., стр. 30.
10. Б.С. Джелепов, В. Звольска, И. Звольский. Программа и тезисы XIII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в г. Киеве. Издат. АН СССР М.-Л. 1963 г., стр. 58.
11. Я. Урбанец, И. Кайфош, И. Звольский, А. Новгородов. Czech. J. Phys., B13, 573 (1963).
12. Б.С. Джелепов, И. Звольский, М.К. Никитин, В.А. Сергиенко. Изв. АН СССР. сер. физ., 25, 1246 (1961).

13. Б.С. Джелепов, И. Звольский, М.К. Никитин, В.А. Сергиенко. Изв. АН СССР. Сер. физ., 28, 202 (1962).
14. К.Я. Громов, Б.С. Джелепов, В. Звольска, И. Звольский. Программа и тезисы докладов XII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии в Ленинграде. Издат. АН СССР. М.-Л. 1962 г., стр. 28.
15. К.Я. Громов, Б.С. Джелепов, В. Звольска, И. Звольский, В.Г. Калинин. Программа и тезисы докладов XIII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии. Изд. АН СССР М.-Л. 1963, стр. 64.
16. J.W. Mihelich, V. Harnatz, T.H. Handley. Phys. Rev., 108, 989 (1957).
17. K.S. Toth, J.O. Rasmussen. Phys. Rev., 115, 150 (1959).
18. K.S. Toth, J.O. Rasmussen. J. Inorg. Nucl. Chem., 10, 198 (1959).
19. K.S. Toth, O.V. Nielsen, O. Skilbreid. Nucl. Phys., 19, 389 (1960).

Рукопись поступила в издательский отдел
11 июня 1964 г.