

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



6-4721

И.Адам, П.Галан, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев,
В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, Н.А.Лебедев,
О.Б.Нильсен, Т.Пазманова, Я.Урбанец, М.Фингер

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ¹⁵²ТЬ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1969

6-4721

И.Адам, П.Галан, К.Я.Громов, Ж.Т.Желев,
В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, Н.А.Лебедев,
О.Б.Нильсен*, Т.Пазманова, Я.Урбанец, М.Фингер

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ¹⁵²Ть

Направлено в "Известия АН СССР"

* Институт им.Нильса Бора, Копенгаген .

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Спектр низколежащих коллективных возбужденных состояний в сферических чётно-чётных ядрах согласно простой модели квадрупольных колебаний состоит из вырожденных мультиплетов ^{/1/}. По расположению первого возбужденного состояния 2^+ (344,4 кэВ) ядро ^{152}Gd ранее рассматривалось как сферическое ядро. Однако реальная схема возбужденных состояний ^{152}Gd ^{/2-11/} существенно отличается от схемы такого модельного представления. В связи с этим изучение возбужденных состояний чётно-чётного ядра ^{152}Gd , находящегося в переходной области от сферических к деформированным ядрам, привлекает многих исследователей.

В последнее время появились работы ^{/4-10/}, в которых авторы рассматривают низколежащие уровни чётно-чётных ядер переходной области, в частности ядра ^{152}Gd , как ротационные состояния, связанные с основным состоянием (0^+) и бета-вибрационным состоянием с энергией 615,6 кэВ (0^+). Авторы ^{/6,7/} наблюдали в реакции $^{150}\text{Sm}(\alpha, 2n)^{152}\text{Gd}$ уровни ^{152}Gd , интерпретируемые как члены ротационной полосы основного состояния с $J = 0^+, 2^+, 4^+, 6^+$ и 8^+ , и уровни - члены бета-вибрационной полосы с $J = 0^+, 2^+, 4^+$ и 6^+ . В работе ^{/6/} при изучении реакции $^{152}\text{Gd}(d, d')$ наблюдались также уровни с энергией 1121 кэВ (3^-), 1314 кэВ (1^-) и 1467 кэВ (5^-), принадлежащие полосе октапольного вибрационного возбуждения с $K=0$.

$\beta^{2,8,10,11/}$ на основе исследования γ -лучей, конверсионных электронов, спектров позитронов и спектров $e-\gamma$ -, $\gamma-\gamma$ -и $\beta^+-\gamma$ -совпадений были предложены схемы распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$.

В настоящей работе продолжено исследование излучения ^{152}Tb ; изучались спектры γ -лучей и конверсионных электронов в жесткой области спектра, а также в области энергий меньше 300 кэВ.

Экспериментальная часть

Методы получения и приготовления радиоактивных источников тербия подробно описаны в работах $^{8,10/}$. В данной работе использовались источники типа I, II, III $^x/$. Гамма-спектр ^{152}Tb измерялся с помощью полупроводникового коаксиального $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора с чувствительным объемом $\approx 12 \text{ см}^3$ и 4096-канального амплитудного анализатора. Спектр гамма-лучей ^{152}Tb в области энергий до 400 кэВ измерялся с помощью плоскопараллельного $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора с размерами $0,7 \text{ см}^2 \times 0,35 \text{ см}$ и 1024-канального амплитудного анализатора с использованием препарата III. Энергии и относительные интенсивности гамма-лучей представлены в табл. 1. Указанные в таблице ошибки определения интенсивностей гамма-лучей не включают погрешности ($\approx 10\%$), обусловленные возможной неточностью знания зависимости эффективности регистрации гамма-лучей от энергии.

Спектр конверсионных электронов в области энергий ниже 1000 кэВ изучался с помощью тороидального шестизазорного бета-спектрометра $^{12/}$ с использованием препарата III. Эти измерения позволили нам обнаружить ряд слабых по интенсивности переходов с энергиями 113,5;

$^x/$ Препарат I - тербий, выделенный из мишени тантала, облученной протонами с энергией 660 МэВ. Препарат II - тербий, выделенный как дочерний продукт из диспрозия. Препарат III - ^{152}Tb , полученный при разделении изотопов тербия с помощью масс-сепаратора.

115,3; 143,8; 155,1; 175,0; 180,0; 194,9; 208,8 кэВ и приписать их распаду ^{152}Tb . Спектр конверсионных электронов в области энергий > 700 кэВ исследовался на магнитном бета-спектрометре $^{13/}$ с двукратной фокусировкой на угол $\pi\sqrt{2}$ с использованием препаратов I и II.

В работе $^{14/}$ сообщалось о наблюдении переходов с энергиями 138,27; 148,94; 149,51; 181,71; 206,6; 209,18; 233,09 и 270,55 кэВ. Переходы с энергиями 148,94; 149,51 и 181,71 кэВ авторами $^{14/}$ отнесены к распаду ^{151}Tb , а переходы с энергиями 138,27 и 206,6 кэВ - либо к ^{151}Tb , либо к ^{152}Tb . Нами не наблюдались конверсионные электроны, соответствующие переходам с энергиями 138,27 и 206,6 кэВ, что исключает принадлежность их к распаду ^{152}Tb .

Конверсионные электроны с $E_e = 144,7$ кэВ мы идентифицировали как K 194,9 кэВ. Отсутствие гамма-лучей данной энергии позволяет предположить, что переход с энергией 194,9 кэВ типа $E0$. Энергии и относительные интенсивности K-конверсионных электронов соответствующих переходов приведены в табл. 1.

При определении относительных интенсивностей конверсионных электронов в случае измерений на β -спектрометре типа $2\pi\sqrt{2}$ интенсивность конверсионных электронов перехода 1047,9 кэВ принималась равной 18 (в единицах $J_{K615,6} = 1000$). Ошибка в определении $J_{K1047,9}$, равная $\approx 10\%$, в полученные интенсивности конверсионных электронов не включалась.

Нами обнаружено более 120 новых переходов при распаде ^{152}Tb . Привлекая эти данные о распаде ^{152}Tb , мы еще раз проанализировали спектры $e-\gamma$ -, $\gamma-\gamma$ - и $\beta^+-\gamma$ -совпадений $^{8,11/}$. Этот анализ позволил ввести ряд новых уровней в ядре ^{152}Gd . При детальном рассмотрении совпадений ($e_K 344,4$) ($\gamma = 700$), ($e_K 271,2$) ($\gamma = 700$) и ($e_K 615,6$) ($\gamma = 700$) обнаруживается, что совпадения гамма-лучей

с энергией ≈ 700 кэВ с $K 271,2$ и $K 615,6$ кэВ наблюдаются в меньшем количестве, чем совпадения с конверсионными электронами $K 344,4$ кэВ. В спектрах совпадений с $K 271,2$ и $K 615,6$ кэВ наблюдаются гамма-лучи энергии 700 кэВ с $J_{\gamma 700}$, равными $(16,0 \pm 3,2)^{x/}$ единицы и $(12,7 \pm 1,5)^{x/}$ единицы соответственно, а в спектре совпадений с $K 344,4$ кэВ - $J_{\gamma 700} = (29,0 \pm 9,0)^{x/}$ единиц.

Интенсивность гамма-лучей с энергией ≈ 704 кэВ в гамма-спектре равна $(34,7 \pm 1,6)$ единицы (табл. 1). Исходя из этих данных следует сделать заключение, что гамма-пик с энергией 704 кэВ сложный и состоит по крайней мере из двух пиков, причем один из них обязан переходу, идущему на уровень $344,4$ кэВ (2^+) с $J_{\gamma} = (20,3 \pm 2,4)$ единицы, другой - переходу, идущему на уровень $615,6$ кэВ (0^+) с $J_{\gamma} = (14,4 \pm 1,8)$ единицы.

Анализ спектров $e-\gamma$ - и $\beta^+-\gamma$ -совпадений^{/8,11/} позволил рассчитать относительные доли позитронов с граничными энергиями $1480, 1690, 1750, 1870, 2044, 2185, 2460$ и 2800 кэВ, заселяющих уровни с энергиями $1318,6$ ($1314,7$); $1109,8$; $1047,9$; $931,1$; $755,6$; $615,6, 344,4$ кэВ и основное состояние ^{152}Gd соответственно. Результаты анализа сведены в табл. 2. В этой таблице представлены также для сравнения данные работы^{/15/}.

Расчитанные экспериментальные значения коэффициентов внутренней конверсии (КВК) и выводы о мультипольности для большинства переходов в ядре ^{152}Gd приведены в табл. 1.

При определении экспериментальных значений КВК принималось, что переход с энергией $344,4$ кэВ является переходом типа $E2$ ($\alpha_{k \text{ теор}} = 0,031$).

$J_{\gamma 344,4}^{x/}$ Интенсивность совпадений рассчитана в относительных единицах ($J_{\gamma 344,4} = 1000$).

Обращает внимание, что величины КВК для многих переходов в области высоких энергий имеют большие значения. Это затрудняет на данном этапе введение и анализ высоколежащих уровней ^{152}Gd и требует более тщательного исследования излучения ^{152}Tb в области энергий выше $2,0$ МэВ.

Схема распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$

Предлагаемая схема распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$ представлена на рис. 1. Наряду с уже известными уровнями наши данные позволяют ввести возбужденные состояния ^{152}Gd с энергиями $1314,7$ (1^-); $1320,0$ (3^+); $1434,0$ ($3,4^+$); $1547,0$ (4^+); $1757,3$ ($1,2^+$); $(2113,8)$; $2601,5$; $2694,0$; $2812,0$; $2867,0$; $2923,0$; $2983,0$; $3000,0$; $3140,0$; $3278,0$; $3294,4$; $3508,4$; $3516,4$ кэВ. Не подтвердились введенные нами ранее^{/8/} уровни с энергиями $(967,1)$; $1532,4$; $1697,1$; $1790,3$; $1840,4$; $1930,2$; $2014,7$; $2101,7$ и $2521,7$ кэВ.

Наблюдение переходов с энергиями 1756 и 1412 кэВ при распаде ^{152}Eu (0^-) в^{/17/} исключает уровни с энергиями $2101,7$ и $2521,7$ кэВ. В работе^{/8/} был введен уровень с энергией $967,1$ кэВ на основании совпадений ($e_k 615,6$) ($\gamma 350$). Однако, как показывает дополнительный анализ этих совпадений, переход с энергией $351,5$ кэВ, вероятно, следует разместить в другом месте схемы распада идущим с уровня $1282,7$ кэВ (4^+) на уровень $931,1$ кэВ (2^+). Уровни, переходы с которых отмечены точками, введены на основе анализа спектров $e-\gamma$ - и $\beta^+-\gamma$ -совпадений. Уровни, переходы с которых отмечены кружками, введены на основе энергетического баланса и баланса интенсивностей.

Приписание уровню $2720,7$ кэВ квантовых характеристик $0^+ / 8^+$ оказалось ошибочным, так как в настоящей работе наблюдались гамма-лучи, соответствующие прямому переходу с энергией $2720,0$ кэВ.

Следует обратить внимание на уровни с энергией 1314,7 кэВ (1^-), 1318,6 кэВ (2^+) и 1320 кэВ (3^+).

Анализ спектров конверсионных электронов и γ -лучей с привлечением данных, полученных при исследовании спектров $e-\gamma$ -совпадений ^{8,10/}, показал, что при распаде $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$ имеется ряд переходов с близкими энергиями: 700,2; 703,0; 703,5; 969,6; 974,4; 975,6; 1314,7; 1317,8 кэВ. Как отмечалось выше, расположение перехода 703,0 кэВ между уровнями 1318,6 и 615,6 кэВ и перехода 703,5 кэВ между уровнями 1047,9 и 344,4 кэВ подтверждается в совпадениях (e_k 615,6) (γ 700), (e_k 271) (γ 700) и (e_k 344,4) (γ 700). Из совпадений (e_k 344,4) (γ 970) следует, что γ -лучи с энергией \approx 970 кэВ полностью идут на уровень 344,4 кэВ (2^+). Для размещения перехода 975,6 кэВ вводится уровень с энергией 1320,0 кэВ. Спин и четность этого уровня из-за отсутствия прямого перехода 1320,0 кэВ на основное состояние ^{152}Gd (0^+) можно предположить равным 3^+ или 4^+ .

Переход с энергией 700,2 кэВ расположен нами между уровнями 1314,7 и 615,6 кэВ. Однако для того чтобы согласовать полученную интенсивность конверсионных электронов этого перехода ($J_k \approx 1,5 \pm 0,3$) с утверждением ^{3,16/}, что уровень 1315,0 (γ нас 1314,7) кэВ имеет квантовые характеристики 1^- и разряжается переходами 1314,7; 969,4 и 700,2 кэВ типа E1 с соотношением интенсивностей $J_{\gamma 1314,7} : J_{\gamma 969,6} : J_{\gamma 700,2} = 1 : 0,43 : 0,04$ ^{3/} или $1 : 0,86 : 0,077$ ^{16/}, необходимо предположить, что существует по крайней мере еще один переход с энергией, близкой к 700 кэВ. Размещение этого перехода возможно между уровнями 2247,8 и 1547,0 кэВ.

Совпадения (e_k 765) (γ 1140) можно отнести как к совпадениям (e_k 766,3) (γ 1137,5), так и к совпадениям (e_k 764,3) (γ 1139) ^{10/}. Таким образом, следует предположить существование

гамма-перехода с энергией 1139 кэВ типа E2, расположенного в схеме распада между уровнями с энергией 1484,0 кэВ (0^+) и 344,4 кэВ (2^+), а гамма-переход с энергией 764,3 кэВ следует разместить между уровнями с энергией 2247,8 и 1484,0 кэВ (0^+).

Анализ спектров $\beta^+-\gamma$ -, $\gamma-\gamma$ -, $e-\gamma$ -совпадений позволил определить доли позитронного заселения уровней и рассчитать значения $lg f_r$ при распаде ^{152}Tb (табл. 2, рис. 1). На рис. 1 приведены также значения $lg f_r$, рассчитанные на основании баланса интенсивностей.

Обсуждение

Обращает на себя внимание то, что характер разрядки и квантовые характеристики уровней ядер $^{154}\text{Gd}_{90}$ и $^{152}\text{Sm}_{90}$ несколько похожи на характер разрядки и соответствующие характеристики уровней ядер $^{152}\text{Gd}_{88}$ и $^{150}\text{Sm}_{88}$ (рис. 2). Это также видно из сравнений аналогичных состояний этих ядер ^{8,9,10,18/}, хотя первые два ядра имеют ярко выраженные ротационные полосы основного состояния, характерные для деформированных ядер, другие два ядра - по расположению первого 2^+ уровня и других уровней напоминают сферические ядра.

Как и в работах ^{8-10/}, нами проведено сравнение отношений приведенных вероятностей переходов, разряжающих аналогичные уровни ядер ^{152}Gd , ^{150}Sm , ^{154}Gd и ^{152}Sm . В табл. 3 сравниваются отношения приведенных вероятностей для переходов, разряжающих уровни бета-вибрационной и гамма-вибрационной полос в ядрах ^{152}Gd , ^{150}Sm ^{9,18,19/}, ^{154}Gd ^{20,21/} и ^{152}Sm ^{21,22/}.

Как видно из табл. 3, значения отношений приведенных вероятностей переходов внутри полос близки друг к другу для этих ядер. Однако наблюдается значительное ослабление $B(E2, 2^+_{\beta} \rightarrow 0^+_g)$ при переходе от деформированного ядра ^{154}Gd к ^{152}Gd и от ^{152}Sm к ^{150}Sm . Не исключено, что это уменьшение величины $B(E2, 2^+_{\beta} \rightarrow 0^+_g)$ связано с разными деформациями 2^+_{β} - состояния и основного состояния (0^+), в частности ядра ^{152}Gd . В работе ^{/23/} в ядре ^{150}Sm обнаружено деформированное состояние типа 0^+ с энергией 1255 кэВ. По-видимому, в ядре ^{152}Gd состояние с энергией 1047,9 кэВ (0^+) является деформированным состоянием, как это отмечалось уже в работе ^{/15/}. Исходя из рассуждений ^{/9/}, можно предположить, что с уровнем 1047,9 кэВ (0^+) связана вращательная полоса. Уровень с энергией 1318,6 кэВ (2^+), по-видимому, является членом этой квази-бета-вибрационной полосы с $K = 0$.

На рис. 3 и 4 отражено поведение уровней, принадлежащих ротационной полосе основного состояния, бета-вибрационной полосе, октупольной полосе и гамма-вибрационной полосе для чётно-чётных ядер гадолиния. На этих рисунках приведены данные настоящей работы и работ ^{/4,6,7,8,10/}.

Уровни с энергией 1109,8 кэВ (2^+) и 1320 кэВ (3^+) в ядре ^{152}Gd нами рассматриваются как члены гамма-вибрационной полосы с $K = 2$. Обнаруженный при изучении реакций $(d,d)^{4/}$ уровень ^{152}Gd с энергией 1547 кэВ, по-видимому, следует рассматривать как член этой полосы со спином и четностью 4^+ , так как этот уровень хорошо укладывается на кривую зависимости 4^+ - уровней для ядер гадолиния (рис. 3,4).

Как видно из рис. 4, проявляются определенные закономерности поведения уровней ротационной полосы основного состояния и уровней бета- и гамма-вибрационных полос этих ядер. По мере удаления от сферических ядер к деформированным энергии 2^+ , 4^+ , 6^+ - уровней

ротационной полосы основного состояния убывают, тогда как энергии 0^+ , 2^+ , 4^+ - уровней бета-вибрационной полосы возрастают и уже для ядра ^{160}Gd экспериментально не наблюдаются. Это, по-видимому, объясняется тем, что ядро ^{160}Gd обладает наибольшей стабильностью деформации остова, что затрудняет проявление возбуждений бета-вибрационного характера. С другой стороны, энергетический характер расположения возбужденных состояний гамма-вибрационной ($K = 2$) и октупольной ($K = 0$) полос практически не зависит от деформации ядер.

Л и т е р а т у р а

1. K.Adler, A.Bohr, T.Huus, B.Mottelson and A.Winther. Revs. Mod. Phys., 28, 432 (1956).
2. K.S.Toth, O.B.Nielsen, O.Skilbreid. Nucl. Physics, 19, 389 (1960).
3. I.Marklund, O.Nathan, O.B.Nielsen. Nucl. Physics, 15, 199 (1960).
4. R.Bloch, B.Elbek and P.O.Tjøm. Nucl. Physics, A91, 576 (1967).
5. M.Sakai. Nucl. Physics, A104, 301 (1967).
6. Y.Gono, M.Ishihara and M.Sakai. International Symposium on Nuclear Structure, p.26, Dubna, D-3893, U.S.S.R. July, 4-11 (1968).
7. Г.Хагеманн, М.Олесен. Доклад на XVII совещании по ядерной спектроскопии. Харьков, 1967.
8. К.Я.Громов, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, М.Фингер, Я.Урбанец, О.Б.Нильсен, К.Вильский, О.Скилбрайт, М.Йоргенсен. Изв. АН СССР, сер. физ., 31, 154 (1967); Nucl. Phys., A99, 585 (1967).

9. Э.Я.Луре, Л.К.Пекар, П.Т.Прокофьев. Изв. АН Латвийской ССР (сер. физ.-тех. наук), 6, 3 (1967).
10. В.В.Кузнецов. Диссертация, Дубна, 1967.
11. К.Я.Громов, Д.А.Енчев, Ж.Т.Желев, И.Звольски, В.Г.Калинников, В.В.Кузнецов, Ма Хо Ик, Г.Музиоль, Хань Шу-жунь. ЯФ, 1, 582 (1965).
12. O.B.Nielsen, O.Kofoed-Hansen, Kgl. danske vid. Selskab. Mat.-fys. medd., 29, 6 (1955).
13. J.Adam, V.G.Chumin, Yu.N.Denisov, M.Finger, K.Ya.Gromov, M.Ya.Kuznetsova, Lu Si-ting. Preprint, E-2494, Dubna, 1965.
14. J.Kormicki, H.Niewodniczanski, Z.Stachura, K.Zuber, Mrs. M.Budziak. Acta Phys. Polon., 31, 317 (1967).
15. Б.С.Джелепов, О.Е.Крафт, Ю.В.Наумов. Изв. АН СССР, сер. физ., 30, 1286 (1966).
16. Б.С.Джелепов, Н.Н.Жуковский, А.Г.Малоян. ЯФ, 1, 941 (1965).
17. Н.А.Воинова, Б.С.Джелепов, Н.Н.Жуковский, Ю.В.Калиничев, А.Г.Малоян, А.Г.Сергеев. ЯФ, 3, 3 (1966).
18. Л.В.Грошев, А.П.Демидов, В.А.Иванов, В.Н.Луценко, В.И.Пелехов. Изв. АН СССР, сер. физ., 27, 218 (1963).
19. R.K.Smith. Phys. Rev., 150, 964 (1966).
20. Б.С.Джелепов, А.Г.Дмитриев, Н.Н.Жуковский, А.Г.Малоян. Изв. АН СССР, сер. физ., 30, 1265 (1966).
21. И.Лиу, О.Б.Нильсен, П.Саллинг, О. Скилбрайд. Изв. АН СССР, сер. физ., 31, 63 (1967).
22. J.S.Greenberg, G.A.Burgmyon, D.A.Bromley. Contribution to the Int. Conf. on Heavy Ion Phys., Dubna, USSR, Oct., 13-19 (1966).
23. R.A.Kenefick, R.K.Sheline. Phys. Rev., 139, 1479 (1965).

Рукопись поступила в издательский отдел
29 сентября 1969 года.

ТАБЛИЦА I

Энергии и относительные интенсивности конверсионных электронов и гамма-лучей при распаде ^{152}Gd . Коэффициенты внутренней конверсии переходов в ^{152}Gd

№ пп	Е.перех. (кэВ)	I_{α}	I_{γ}	$\alpha_{\kappa} \cdot 10^4$	Мультипольн.
I	113,5	2,2			
2	115,3	2,4			
3	117,2	28,8±2,9	~1,0	~500	(E2)
4	143,8 ^a	1,5			
5	155,1 ^a	1,6			
6	175,0	9,3±1,0			
7	180,0	4,1			
8	194,9 ^a	11,4±1,2			
9	208,8	9,7±1,0			
10	270,55 ^b	23,5 ^b	~10	~407	E2
11	271,2	489±49	168,5±6,5	502±75	E2
12	310		~6		
13	315,5	~38	18,3±3,6	~360	E2
14	344,4	1790±70	1000	310	E2
15	351,5	~6,2	9,5±3,0	~113	> E1
16	368	~3,7	13,4±1,3	~48	E1
17	387,78 ^b	140±30	15,0±1,5	1616±420	E0-E2
18	411,2	62,1±4,0	60,0±3,0	180±24	E2
19	432,5	406±40	< 5	> 14060	E0
20	496,7	9,9±0,5	3,9±0,4	440±66	> E3
21	511	-	174±9		
22	527,1	19,3±1,0	3,1±1,0	1078±366	> M2, E0+E2
23	543,5 ^a	6,0±1,0	3,3±1,0	315±113	E3
24	557,0	~1,2	10,3±3,4	~2,0	E1
25	586,7	168±8	132±7	220±28	E0+E2
26	615,6	1000	< 3	> 57670	E0
27	623,1	9,0±0,9	13,8±0,7	113±17	M1
28	675,6	2,9±0,6	9,5±0,9		E2
29	679,2	1,5±0,5			
30	700,2 ^a	1,5±0,3			
31	703,0	10,0±1,0	34,7±1,6		E2
32	703,5				E2

№ пп	Е.перех. (кэВ)	I_{α}	I_{γ}	$\alpha_k \cdot 10^4$	Мультипольн.
33	764,3	9,5±2,0	39,7±2,0		(E2)
34	766,3	4,5±1,5			(E2)
35	778,8	7,4±0,8	76,3±3,8		E1
36	785,3 ^{a)}	1,0±0,3			E1
37	853,0 ^{a)}	2,3±0,5	~1,0	~400	>M3
38	893,2 ^{a)}	4,2±0,4	9,9±0,5	74±II	E3
39	928,9	1,2±0,5	28,2±I,4		MI, E2
40	931,2	5,3±0,8			MI, E3
41	957,6 ^{a)}	0,30±0,03	~1,1	~47	E1
42	969,6	1,0±0,3	17,3±5,2 ^{c)}		E0+E2
43	974,4	13,4±I,0	38,2±5,0		E2, E1
44	975,6				E3
45	990,7	1,25±0,25	14,6±I,5	14,8±4,0	E0
46	1010,4	2,4±0,4	7,0±0,4	60±I4	M3
47	1047,9	18,0±I,8	< 8	> 390	MI, E2
48	1061,6 ^{a)}	0,9±0,1	~1,0	~156	MI
49	1090,0	2,6±0,8	16,2±I,6	28±I0	E3
50	1109,8	6,3±0,6	37,8±3,8	29±6	E2
51	1137,5	2,7±0,3	11,3±I,2	41±9	E2
52	1186,0	0,28±0,06	3,0±I,0	16,0±7,2	E2
53	1203,0	~0,15	1,5±0,5	~17	E1
54	1208,0 ^{a)}	~0,15	5,4±0,5	~4,8	> M3
55	1217,0 ^{a)}	0,3±0,1	< 0,5	> I04	MI
56	1261,7	2,1±0,2	12,6±0,6	28,9±5,2	E1
57	1299,5	1,28±0,13	25,3±2,5	8,8±I,8	E1
58	1314,7	0,75±0,15	18,2±I,3	7,1±I,8	E2, MI
59	1317,8	0,88±0,13	8,4±I,0	18,1±4,3	MI
60	1326,6	1,30±0,20	10,7±I,0	21,0±5,0	M2
61	1342,0 ^{a)}	0,80±0,08	3,0±0,4	46±I0	E2
62	1348,7	1,08±0,11	12,1±0,6	15,4±2,8	E3, E1+M2
63	1352,7	0,60±0,06	3,6±0,6	29±7	M2
64	1362,0	0,36±0,07	~1,0	~62	E2, MI
65	1368,4 ^{a)}	0,35±0,07	3,6±0,2	16,6±4,2	E1
66	1374,0	0,10±0,02	2,8±I,0	6,2±2,7	> E2
67	1383,5 ^{a)}	0,50±0,07	< 6,5	> I3	MI
68	1406,0	0,13±0,04	~1,0	~22	

№ пп	Е.перех. (кэВ)	I_{α}	I_{γ}	$\alpha_k \cdot 10^4$	Мультипольн.
69	1411,7	0,56±0,08	9,7±I,0	10,0±2,3	E2
70	1447,2 ^{a)}	0,34±0,06	4,1±0,6	14,4±3,9	E2, MI
71	1484,1	0,75±0,08	< I,0	> I30	> M4, E0
72	1491,0	~0,15			M2
73	1496,0	0,52±0,06	2,5±0,4	36±8,6	MI, E2, E3
74	1507,4 ^{a)}	0,144±0,015	1,5±0,5	16,6±6,1	E3, MI
75	1518,4	1,02±0,08	9,0±0,9	19,6±3,8	E2
76	1533,4 ^{a)}	0,070±0,014	1,5±0,2	8,1±2,2	M2
77	1561,0 ^{a)}	~0,2	~0,8	~43	E1
78	1585,8 ^{a)}	0,44±0,05	12,9±0,7	5,9±I,1	E2
79	1597,0	0,49±0,07	9,8±I,0	8,7±I,9	E2 (E1)
80	1605,1	0,17±0,04	4,3±0,6	6,8±2,1	E2, MI
81	1632,0	0,26±0,03	4,1±0,7	11,0±2,8	E2, E1
82	1639,0	~0,1	2,7±0,7	~5,4	M2
83	1662,8	0,33±0,08	1,6±0,3	36±I2	E3 (MI)
84	1670,2	0,90±0,09	9,6±I,0	16,2±3,2	E3
85	1730,5 ^{a)}	0,14±0,02	1,4±0,3	17,3±3,2	E3, MI
86	1735,8	0,084±0,013	~1,0	~15	> M2
87	1738,6	0,11±0,02	< 0,5	> 38	E2
88	1757,3	0,43±0,05	9,0±0,5	8,3±I,6	E2
89	1762,0	0,037±0,008	~1,0	~6,4	E3
90	1771,3	0,49±0,05	4,5±0,5	18,9±3,8	M2
91	1778,7	0,18±0,03	1,2±0,3	26±9	M2
92	1790,0	0,72±0,07	6,0±0,9	20,8±4,8	E2
93	1798,5 ^{a)}	0,10±0,03	2,5±0,3	6,9±2,4	MI, E2
94	1820,0	0,10±0,03	1,8±0,4	9,6±3,8	MI, E2
95	1843,0 ^{a)}	0,11±0,03	2,2±0,3	8,7±3,1	E2
96	1857,0	0,14±0,04	4,3±0,5	5,6±2,0	MI
97	1862,3	0,41±0,08	6,9±1,0	10,3±2,9	MI
98	1871,2	0,122±0,024	2,3±0,4	9,2±2,8	MI
99	1884,7 ^{a)}	0,11±0,02	2,2±0,6	8,7±3,1	E2
100	1894,0 ^{a)}	~0,1	~3,0	~5,8	E3, MI
101	1903,4	1,65±0,17	24,6±I,2	11,6±2,1	MI
102	1910,0	~0,1			E1
103	1921,6	0,41±0,06	7,2±0,7	9,8±2,2	E2
104	1933,8	0,032±0,006	~I,5	~3,7	
105	1941,8	0,35±0,05	10,0±I,0		
106	1944,8 ^{a)}	~0,1			

№№ ПП	Е перех. (кэВ)	I_{κ}	I_{γ}	$\alpha_{\kappa} 10^4$	Мультиполн.
I07	1955,6 ^a)	0,113±0,023	5,3±0,5	3,7±1,0	Е1
I08	1962,9	0,060±0,025	~1,0	~10,4	М1
I09	1976,3		2,0±0,3		
I10	2015,0 ^a)	0,051±0,013			
I11	2020,1 ^a)	0,027±0,006	~1,0	~4,7	(Е2)
I12	2029,5	0,025±0,010			
I13	2035,0 ^a)	0,052±0,008	~1,0	~9,0	М1, Е3
I14	2044,5 ^a)	~0,2 ^d)	~0,5		
I15	2052,1	0,007±0,002			
I16	2065,3 ^a)	0,091±0,025	1,0±0,5	16±9	≥ М1
I17	2070,0	0,073±0,011	1,5±0,7	8,4±4,4	М1, Е2
I18	2076,6	0,058±0,010	2,3±0,3	4,4±1,1	Е2
I19	2084,4 ^a)	0,023±0,003			
I20	2094,0	0,28±0,03	3,0±0,3	16,2±3,2	М2
I21	2105,0	0,041±0,006	~0,5	~14	
I22	2113,8	0,064±0,010	2,0±0,3	5,5±1,4	Е2
I23	2120,0 ^a)	0,061±0,016	1,8±0,3	5,9±2,0	Е2
I24	2151,3 ^a)	0,157±0,016	3,0±0,2	9,1±1,8	Е3
I25	2160,4 ^a)	0,04±0,01	~0,5	~14	
I26	2170,4	0,055±0,008	1,2±0,2	7,9±2,0	М1, (Е3)
I27	2180,6 ^a)	0,068±0,008	~0,5	~24	> М2
I28	2186,2	0,14±0,03	3,0±0,3	8,1±2,2	М1, Е3
I29	2197,2	0,10±0,02	~1,0	~17,3	М2
I30	2211,7 ^a)	0,06±0,02	~0,5	~21	> М2
I31	2218,0 ^a)	0,14±0,05	~0,2	~121	> М5
I32	2253,3	0,11±0,02	1,7±0,3	11,2±3,3	М2, Е3
I33	2258,5	0,10±0,03	1,8±0,5	9,6±4,2	М1, М2, Е3
I34	2265,4	0,09±0,02	2,5±0,5	6,2±2,0	М1, Е2
I35	2276,6 ^a)	0,04±0,01	1,7±0,5	4,1±1,7	Е2
I36	2291,0 ^a)	0,20±0,04	~1,0	~3,5	> М3
I37	2308,8	0,04±0,01	~0,5	~138	М2
I38	2321,7	0,11±0,02	~0,5	~38	> М3
I39	2344,6	0,18±0,02 ^d)	1,8±0,3	17,3±4,3	> М2
I40	2357,0 ^a)	0,08±0,02	~0,5	~28	М3
I41	2366,5	0,45±0,08	5,3±0,3	14,4±3,5	М2

№№ ПП	Е перех. (кэВ)	I_{κ}	I_{γ}	$\alpha_{\kappa} 10^4$	Мультиполн.
I42	2376,4	0,65±0,09	10,6±0,6	10,6±2,2	М2
I43	2386,0	0,140±0,014	1,3±0,3	18,6±5,2	М3
I44	2400,5	0,11±0,03	~1,0	~19	М3
I45	2406,5	0,45±0,09	18,0±0,9	4,3±1,1	Е2
I46	2428,4 ^a)	0,17±0,04	1,6±0,3	18,4±6,2	М3
I47	2465,5	~0,02			
I48	2491,4 ^a)	0,10±0,02			
I49	2497,0 ^a)	0,06±0,02	~0,5	~21	М3
I50	2506,2 ^a)	~0,02			
I51	2518,3 ^a)	0,060±0,006	1,4±0,3	7,4±2,1	Е3, М1
I52	2522,6	0,045±0,005	1,8±0,4	4,3±1,2	Е2, М1
I53	2536,5	0,170±0,017	3,7±0,2	8,0±1,4	Е3, М2
I54	2551,3 ^a)	0,016±0,003	1,2±0,4	2,3±0,9	Е1
I55	2570,2 ^a)	0,050±0,005	2,5±0,5	4,3±1,1	Е2, М1
I56	2578,0	0,047±0,007	1,0±0,3	8,1±2,0	Е3, М2
I57	2587,4 ^a)	0,236±0,024	5,3±0,5	7,7±1,5	Е3, М2
I58	2601,5	0,044±0,005	1,7±0,4	4,5±1,4	М1, Е2
I59	2620,0 ^a)	0,130±0,013	3,6±0,4	6,2±1,3	Е3, М1
I60	2656,0	0,024±0,005	< 1,0	> 4,1	> Е2
I61	2663,5	0,05±0,02	≤ 2,3	≥ 3,8	≥ Е2
I62	2667,2	0,07±0,02	2,2±0,5	5,5±2,1	М1, Е2, Е3
I63	2681,5 ^a)	0,027±0,003	~0,7	~6,7	Е3
I64	2694,0	0,055±0,006	~0,8	~12	М3
I65	2698,5 ^a)	0,10±0,01	3,3±0,4	5,2±1,1	М1, Е3
I66	2707,5 ^a)	~0,03	2,3±0,2		Е2
I67	2711,0	0,05±0,01			
I68	2720,0	0,10±0,02	3,4±0,4	5,1±1,4	М1, Е3, Е2
I69	2734,0 ^a)	0,024±0,003	~0,5	~8,3	М2
I70	2741,5 ^a)	0,025±0,007	~0,3	~14	М3
I71	2746,0	~0,01			
I72	2754,5 ^a)	0,043±0,006	1,1±0,2	6,8±1,7	М2, Е3
I73	2780,0 ^a)	0,012±0,002	0,4±0,2	5,2±2,8	М1, Е3
I74	2788,0 ^a)	0,007±0,002	0,8±0,1		
I75	2790,7 ^a)	0,014±0,006			
I76	2796,0	0,022±0,002	0,8±0,1	4,8±1,0	М1, Е3
I77	2807,4 ^a)	0,009±0,003	~0,2	~7,8	М2
I78	2812,0	0,006±0,002			
I79	2825,0 ^a)	0,008±0,002			

№ пп	Е _{перех.} (кэВ)	I _к	I _γ	α _к · 10 ⁴	Мультипольн.
180	2831,0 ^{a)}	0,009±0,002	~0,2	~7,8	M2
181	2837,4 ^{a)}	0,007±0,002			
182	2862,0 ^{a)}	0,015±0,002	0,4±0,1	6,5±2,1	M2, E3
183	2870,4	0,023±0,002			
184	2878,0 ^{a)}	0,009±0,002			
185	2885,0 ^{a)}	0,020±0,003	1,1±0,1	3,2±0,7	E2
186	2894	0,013	0,9±0,1	~2,5	E2, (E1)
187	2902	0,014			
188	2908 ^{a)}	0,009±0,002	0,3±0,1	5,2±2,2	E3, M1
189	2916 ^{a)}	0,007			
190	2923	0,011	0,3±0,1	~6,4	E3, M1
191	2930 ^{a)}	0,011			
192	2936	0,010			
193	2942,3 ^{a)}	0,030±0,006	0,9±0,2	5,8±1,9	E3, M1
194	2950	0,011±0,002			
195	2983		0,6±0,1		
196	3000		0,6±0,1		
197	3048 ^{a)}		1,1±0,1		
198	3064		0,6±0,1		
199	3164		0,8±0,2		
200	3172 ^{a)}		0,9±0,3		
201	3212		0,5±0,1		
202	3234 ^{a)}		0,5±0,1		
203	3278		0,4±0,1		
204	3335		0,6±0,1		

- а) Переходы не размещены в схеме распада;
 в) значения указанных величин взяты из работ /14/;
 с) I_γ рассчитан из I_к в предположении, что переход с энергией 969,6 кэВ типа E1;
 д) линии конверсионных электронов сложные.

ТАБЛИЦА 2
 Данные о позитронах I52

Е, γ-гр (кэВ)	Энергия I52 уровня (кэВ)	Относительные доли компонентов позитронов		Интенсивность β ⁺ -компонентов (%)	lg ff
		Из спектра β ⁺ -γ-совпад.	Из спектров e-γ-совпад.		
2800	0	100	100	5,5	8,3
2460	344,4	38±8	31±13	2,1	8,4±0,2
2185	615,6	18±4	14,5±4,4	1,0	8,5±0,1
2044	755,6	< 2	< 5		7,9±0,2
1870	931,1	28±6	15,3±4,5	1,6	≥ 8,3
1750	1047,9	< 5	< 5	0,3	7,7±0,2
1690	1109,8	37±12	34±10	2,0	7,8±0,2
1480	1318,6 (1314,7)		15±5 **)	0,8	

**) Интенсивность β⁺-компонентов (в % на распад) рассчитывалась из спектров β⁺-γ - совпадений.
 **) Значение доли позитронов на уровне с энергией 1318,6; 1314,7 кэВ рассчитаны из спектра совпадений с γ-лучами в области энергий 1320 кэВ /11/.

ТАБЛИЦА 3

Сравнение экспериментальных отношений приведенных вероятностей для переходов, разряжающих уровни бета-вибрационной и гамма-вибрационной полос в ядрах ^{152}Gd , ^{150}Sm , ^{154}Gd и ^{152}Sm

Отношение приведенных вероятностей	^{152}Gd	^{150}Sm	^{154}Gd	^{152}Sm	Правила Алаги
$B(E2, 2^+ \rightarrow 4^+) \rightarrow 4^+$	2,1	< 3,2	2,5 / 20/	2,6 ± 0,8 / 2I/	1,8
$B(E2, 2^+ \rightarrow 2^+) \rightarrow 2^+$	100	38,3	17 / 20/	13 ± 4 / 2I/	2,57
$B(E2, 2^+ \rightarrow 0^+) \rightarrow 0^+$	48,4	> 12	6,9 / 20/	5,00 ± 0,15 / 2I/	1,43
$B(E2, 2^+ \rightarrow 0^+) \rightarrow 0^+$	~ 18	25	5,6 ± 1,2 / 2I/	(2,38 ± 0,73) / 22/	$K_1 = 0$
$B(E2, 4^+ \rightarrow 4^+) \rightarrow 4^+$	< 6	< 4,6	16,8 / 20/	—	0,9I
$B(E2, 4^+ \rightarrow 2^+) \rightarrow 2^+$			(2,02 ± 0,19) / 20/	2,7 ± 0,3 / 2I/	
$B(E2, 2^+ \rightarrow 2^+) \rightarrow 2^+$			2,56 ± 0,20 / 2I/	(1,89 ± 0,64) / 22/	1,43
$B(E2, 2^+ \rightarrow 0^+) \rightarrow 0^+$					$K_1 = 2$

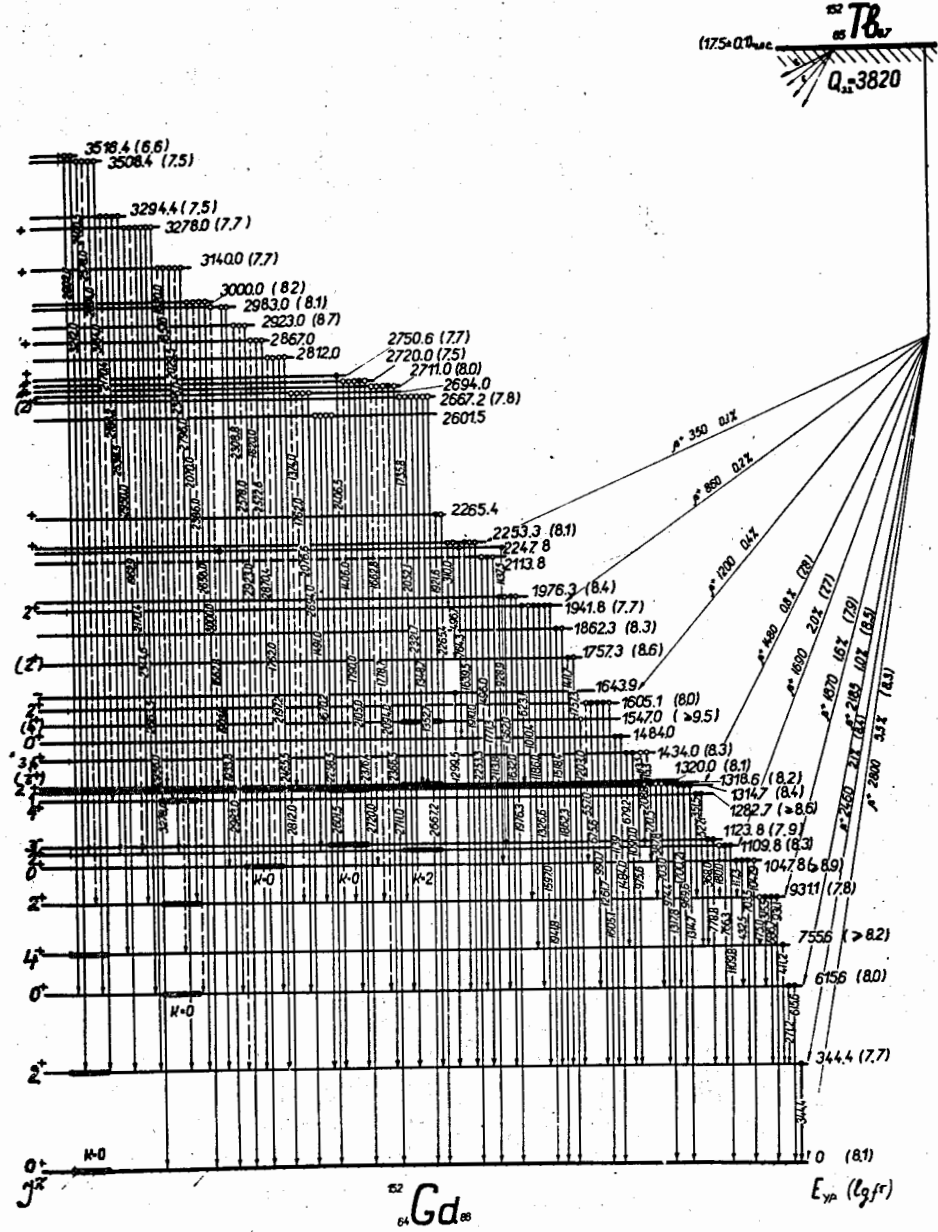


Рис. 1. Схема распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$.

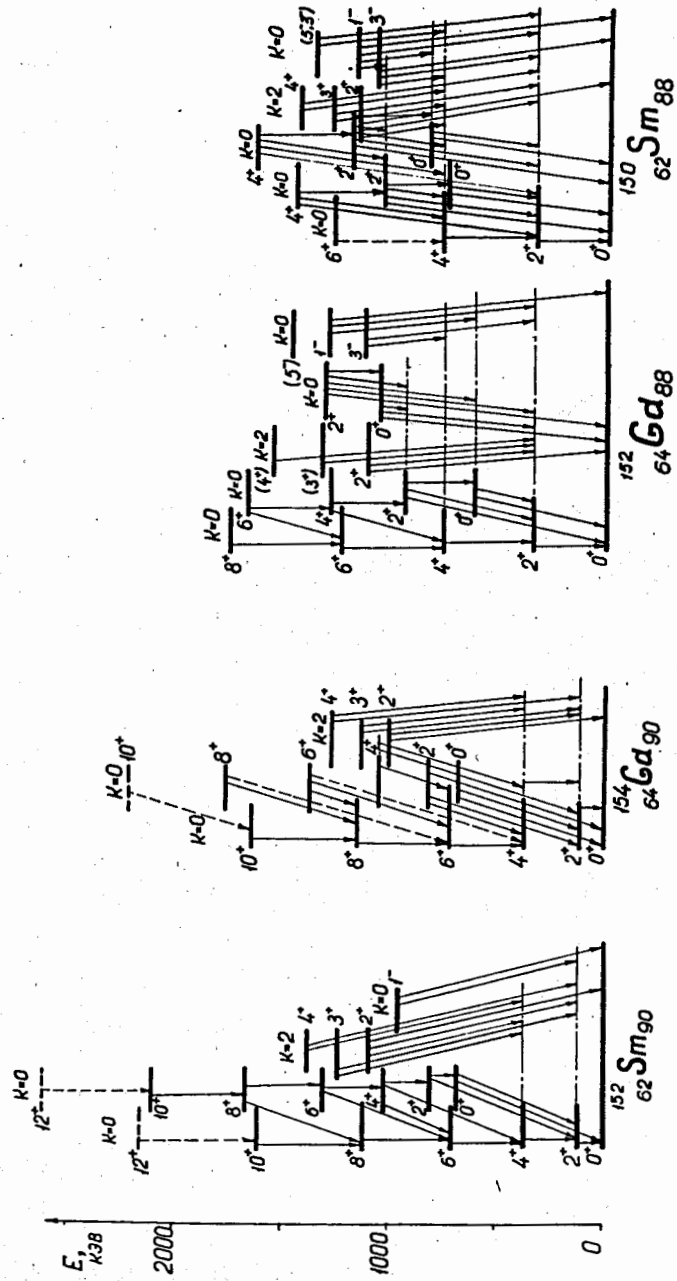


Рис. 2. Ротационные полосы, связанные с основными, бета- и гамма-вибрационными состояниями ^{152}Sm , ^{154}Gd , ^{152}Gd и ^{160}Sm .

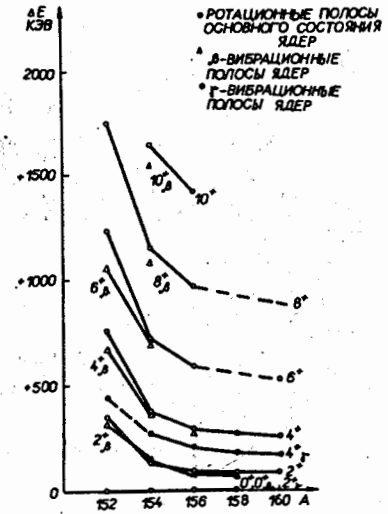


Рис. 3. Поведение уровней чётно-чётных ядер гадолиния.

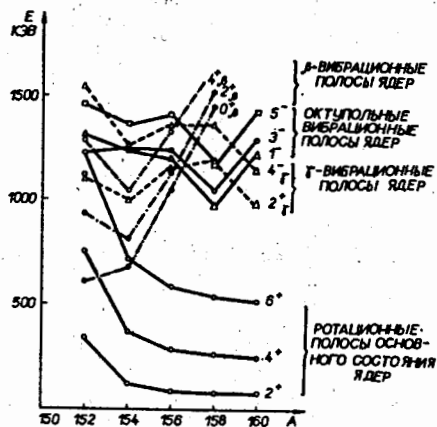


Рис. 4. Расположение энергетических уровней ядер гадолиния.