

И-916

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 6766

ИСХАКОВ Гаппар

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЯДЕР
ПЕРЕХОДНОЙ ОБЛАСТИ.
СХЕМЫ РАСПАДА ЯДЕР ТЕРБИЯ
С МАССОВЫМИ ЧИСЛАМИ 151, 150, 149, 148 И 147

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1972

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:
доктор физико-математических наук К.Я.Громов
кандидат физико-математических наук В.В.Кузнецов

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук П.Т.Прокофьев
кандидат физико-математических наук Ф.А.Гареев

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Радиевый институт им. В.Т. Хлопина.

Автореферат разослан " 6 " ^{VI} 1972 года.
Защита диссертации состоится " 17 " ^I 1973 года в 14 часов на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Ю.А. Батусов

ИСХАКОВ Гаппар

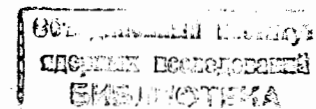
И-916

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЯДЕР
ПЕРЕХОДНОЙ ОБЛАСТИ.
СХЕМЫ РАСПАДА ЯДЕР ТЕРБИЯ
С МАССОВЫМИ ЧИСЛАМИ 151, 150, 149, 148 И 147

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



За последние годы ядерной физикой был накоплен большой экспериментальный материал, который стал основой для создания модельных представлений о строении ядра. Большие успехи достигнуты при объяснении ряда свойств сферических ядер с числом протонов и нейтронов, близким к магическому, на основе оболочечной модели. Физические свойства деформированных ядер в значительной степени удалось объяснить на основе обобщенной модели, развитой О. Бором и Б. Моттельсоном, схемы Нильссона и сверхтекучей модели В. Г. Соловьева и С. Т. Беляева. Эти модели атомного ядра дали возможность систематизировать имеющиеся экспериментальные данные и классифицировать многие уровни ядер по их природе.

Изучение свойств ядер переходной области / $A = 140-150$ /, свойства которых в большой мере определяются соотношением между силами спаривания, стремящимися ядру придать сферическую форму, и поляризуемыми силами, действующими со стороны нуклонов незаполненной оболочки, стремящимися деформировать ядро, имеет большое значение для развития современных теоретических представлений о ядре.

С этой точки зрения представляет интерес исследование бета-распада нейтронодефицитных изотопов тербия / $A = 147-151$ /. Бета-распад этих изотопов тербия к моменту начала настоящей работы был изучен слабо. Одна из причин заключалась в том, что указанные изотопы довольно сильно удалены от стабильного изотопа тербия-159 и их трудно получить в простых реакциях. При использовании для этого реакций глубокого расщепления надежные сведения об их излучении дает только применение сепарации изотопов по массам.

В настоящей работе изучались возбужденные состояния четно-нечетных изотопов гадолиния с массовыми числами 151, 149 и 147, а также четно-четных изотопов гадолиния с массовыми числами 148 и 150, возникающих при распаде соответствующих изотопов тербия. Радиоактивные изотопы тербия мы получали в реакции глубокого расщепления при облучении танталовой мишени протонами с энергией 660 Мэв на внутреннем пучке синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ при токе протонов $\approx 2,3$ мка. Длительность облучений варьировалась в зависимости от поставленных задач от 20 мин до 4 часов.

Исследование излучения изотопов тербия проводилось с использованием различной спектрометрической аппаратуры: установок для исследования $\gamma\text{-}\gamma$ и $e\text{-}e$ -совпадений /2/, магнитного спектрометра /3/ и спектрографов /4,5,6/, а также спектрометров с применением полупроводниковых детекторов. Широко использовались методы обработки информации с помощью электронно-вычислительных машин.

При измерениях на спектрометрах с полупроводниковыми детекторами /спектры γ -лучей, конверсионных электронов и $\gamma\text{-}\gamma$ -совпадений/ применялись моноизотопные источники, полученные при разделении тербия по изотопам на электромагнитном масс-сепараторе /7/ Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

В настоящей диссертации, состоящей из введения, трех глав и заключения, изложены основные итоги проведенных автором методических работ /глава 1/ и исследований возбужденных состояний нечетных изотопов гадолиния с массовыми числами $A = 151, 149$ и 147 , возникающих при распаде соответствующих изотопов тербия /глава 2/, а также четно-четных изотопов гадолиния ^{148}Gd и ^{150}Gd - при распаде ^{148}Tb и ^{150}Tb /глава 3/.

Автором усовершенствован комплекс бета-спектрографов отдела ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Исследовано и устранено влияние рассеянного магнитного поля альфа-спектрографа на магнитные поля бета-спектрографов.

При участии автора осуществлен запуск автоматического микрофотометра /АМФ/, предназначенного для автоматической обработки спектрограмм конверсионных электронов с фотопластинок, экспонированных на бета-спектрографах. Автоматический микрофотометр, непосредственно связанный с ЭВМ "Минск-2", позволил значительно сократить время, необходимое для обработки полученной информации с хорошей точностью и надежностью.

Исследованы спектры гамма-лучей, конверсионных электронов при распаде нечетно-четных изотопов ^{151}Tb , ^{149}Tb , ^{147}Tb и нечетно-нечетных изотопов ^{150}Tb и ^{148}Tb . При исследовании распада ^{151}Tb , ^{149}Tb , ^{150}Tb и ^{148}Tb изучены спектры гамма-гамма-совпадений с помощью двумерного анализатора с цифровыми окнами на базе ЭВМ "Минск-2", а в случае ^{151}Tb - также спектры $e\text{-}e$ -совпадений.

Основные результаты экспериментальных исследований распадных свойств вышеперечисленных ядер заключаются в следующем.

а/ При распаде ^{151}Tb идентифицировано более 130 гамма-переходов, из них 90 являются новыми. Определены мультипольности для ряда переходов. Определено количество позитронов, ведущих к заселению уровня с энергией 839,3 кэв: $0,8 \pm 0,3\%$ на распад ^{151}Tb . Определено отношение альфа-распада к бета-распаду $^{151}\text{Tb} \rightarrow \alpha/\epsilon + \beta^+$. Оно равно $10 \pm 5 \cdot 10^{-5}$. По отношению k/β^+ заселения уровня с энергией 839,3 кэв $3/2^- / ^{151}\text{Gd}$ при предположении, что бета-переход разрешен, определена граничная энергия позитронов $E_{\text{гр}}\beta^+ = 750 \pm 70$ кэв и соответственно разность масс $^{151}\text{Tb} - ^{151}\text{Gd}$: $Q_\epsilon = 2610 \pm 70$ кэв.

Схема распада ^{151}Tb /рис. 1/ включает в себя 34 возбужденных уровня ^{151}Gd , из них 22 введены нами. Для ряда уровней определены значения спина и четности.

Нижние состояния ^{151}Gd /О кэв, $7/2^-$; 108,1 кэв, $5/2^-$ и 395,2 кэв, $3/2^-$ /представляют собой, вероятно, конфигурационный мультиплет $(f7/2)^{-3}$. Однако возможна и другая интерпретация этих уровней. Наблюдение ускорения E2-перехода с уровня с энергией 108,1 кэв позволяет объяснить свойства этих уровней, предполагая существование слабой связи между движением нечетной частицы $(f7/2)$ и колебаниями четно-четного остова ядра /модель Де Шалита/.

б/ При распаде ^{149}Tb обнаружено более 90 гамма-переходов, из них 78 являются новыми. Для большинства переходов определены мультипольности. По отношению $L_I : L_{II} : L_{III}$ перехода с энергией 164,98 кэв в ^{149}Gd вычислено значение $\delta^2 = 0,66 \pm 0,03$ и мультипольность: $M1 / 60\% / + E2 / 40\% /$. Установлено количество позитронов на распад ^{149}Tb . Оно равно $4,0 \pm 0,5\%$.

Схема распада ^{149}Tb /рис. 2/ включает в себя 23 возбужденных состояния ^{149}Gd , из них 18 введены нами впервые. Для ряда уровней предлагаются значения спина и четности.

Наблюдается аналогия в характере разрядки нижних состояний в ядрах $^{149}\text{Gd}_{85}$ и $^{147}\text{Sm}_{85}$. В ядре ^{149}Gd наблюдается также уровень с энергией 1026,4 кэв $/3/2^+$ /, аналогичный уровню $^{147}\text{Sm}_{85}$ с энергией 1053 кэв $/3/2^+$ /.

Нижние уровни со спинами $7/2^-$, $5/2^-$ и $3/2^-$ ядра ^{149}Gd можно рассматривать, как и в случае ядра ^{151}Gd , на основе предложенной Де Шалитом модели для нечетных ядер. Связь между частичным состоянием $f7/2$ и квадрупольным фононом может дать пять состояний со спинами $3/2$, $5/2$, $7/2$, $9/2$ и $11/2$, при этом должно наблюдаться ускорение E2-переходов между фононными состояниями, а M1-переходы запрещены. Такое положение для разрядки нижних состояний ^{149}Gd действительно наблюдается.

в/ При распаде ^{147}Tb обнаружено 44 гамма-перехода. Для ряда переходов определена мультипольность. Найдено значение периода полураспада ^{147}Tb : $T_{1/2} = 1,7 \pm 0,1$ час. Определена доля позитронов на распад ^{147}Tb , равная $7,3 \pm 0,5\%$, и оценена граничная энергия $E_{\text{Гр}\beta^+} \approx 2300$ кэв.

Схема распада ^{147}Tb /рис. 3/ включает в себя 10 возбужденных состояний ^{147}Gd , введенных нами впервые, для 6 уровней предложены значения спина и четности.

Сравнительно малое значение $lgf_T = 5,8$ для бета-перехода на уровень с энергией 1847,5 кэв, вероятно, указывает на трехквaziчастичную природу этого состояния.

г/ При распаде ^{150}Tb идентифицированы 92 гамма-перехода, из них 75 являются новыми. Определен период полураспада ^{150}Tb : $T_{1/2} = 3,48 \pm 0,16$ час. Для ряда переходов найдены значения коэффициентов внутренней конверсии. Обнаружен монополярный переход (E0) с энергией 1207,5 кэв и введен уровень с энергией 1207,5 кэв (0^+) в ^{150}Gd .

Схема распада ^{150}Tb /рис. 4/ включает в себя 17 возбужденных уровней ^{150}Gd , из них 10 введены нами впервые. Наблюдаемая разрядка ряда уровней переходами определенной мультипольности позволяет уровням с энергией 638,2; 1134,4; 1207,5; 1288,7; 1430,1; 1452,2; 1518,0; 1701,5 и 1955,5 кэв приписать спин и четность 2^+ , 3^- , 0^+ , 4^+ , 2^+ , (1^-) , 2^+ , (5^-) , (4^+) соответственно. Определено количество позитронов при распаде ^{150}Tb , интенсивность которых составляет $13,3 \pm 1,2\%$ на распад ^{150}Tb .

д/ При распаде ^{148}Tb / $T_{1/2} = 66$ мин / обнаружено 58 гамма-переходов. Для ряда переходов определена мультипольность. Схема распада ^{148}Tb /рис. 5/ включает в себя 18 возбужденных состояний ^{148}Gd , введенных нами впервые. Наблюдаемая разрядка уровней переходами определенной мультипольности позволяет возбужденным состояниям с энергией 783,4; 1272,5;

1414,5 и 1860,3 кэВ приписать спин и четность 2^+ , 3^- , 4^+ и (2^+) соответственно. Определено количество позитронов при распаде ^{148}Tb . Оно составляет $20,2 \pm 2,0\%$ на распад ^{148}Tb / $T_{1/2} = 66$ мин/.

В ядрах $^{151}_{64}\text{Gd}_{87}$, $^{149}_{64}\text{Gd}_{85}$ и $^{147}_{64}\text{Gd}_{83}$, а также в соседних ядрах $^{147}_{62}\text{Sm}_{85}$ / $8/$ и $^{145}_{62}\text{Sm}_{83}$ / $8/$ наблюдаются

уровни с положительной четностью. По модели оболочек Майер трудно ожидать возбуждения состояний с положительной четностью в этих ядрах. Уровни со спином и четностью $3/2^+$ в них, по-видимому, являются октупольными состояниями. В частности, в ядре ^{147}Sm уровень $3/2^+$ в области 1320 кэВ получается также из расчета, проведенного Шимой /9/.

Обращает на себя внимание также то, что в ядрах ^{151}Gd , ^{149}Gd и ^{147}Gd имеются состояния со спином и четностью $3/2^-$, по-видимому, аналогичной природы: уровни этих ядер с энергией 839,3 кэВ / $lgf_T = 6,25/$, 1205,1 кэВ / $lgf_T = 6,25/$ и 1846,1 кэВ / $lgf_T = 5,8/$ сильно заселяются при распаде соответствующих изотопов тербия. В частности, завышенное значение КВК для перехода 443,8 кэВ, разряжающего уровень 839,3 кэВ / $3/2^-$ / в ^{151}Gd , позволяет предположить мультипольность этого перехода типа E2+E0. Как отмечалось в работе /10/, возможно, что уровень 839,3 кэВ является бета-вибрационным состоянием. С другой стороны, согласно /11/ переход с энергией 443,8 кэВ типа E2 несколько заторможен по сравнению с оценкой по Мошковскому, что находится в противоречии с предположением о бета-вибрационной природе уровня 839,3 кэВ. По-видимому, это противоречие снимется, если предположить, что ядро ^{151}Gd имеет небольшую деформацию, тогда следует проводить сравнение парциальных периодов полураспада для пе-

рехода с энергией 443,8 кэВ экспериментального и рассчитанного по формуле Нильссона. Известно /12/, что в деформированных ядрах переходы типа E2, которые, как правило, характеризуются небольшими ускорениями относительно оценки Мошковского, а иногда и заторможены, часто оказываются сильно ускоренными относительно оценок по Нильссону: это ускорение может достигать трех и даже четырех порядков. Очевидно, что решение вопроса о природе уровня с энергией 839,3 кэВ требует дальнейших исследований.

Систематическое рассмотрение свойств возбужденных состояний в изученных ядрах ^{150}Gd и ^{148}Gd и в соседних ядрах позволяет сделать заключение, что ^{150}Gd и ^{148}Gd проявляют в основном свойства сферических ядер. Состояния типа 0^+ , 2^+ , 4^+ и 6^+ в ядре ^{148}Gd , по-видимому, следует рассматривать как члены мультиплета $(f7/2)^2/13/$. Экспериментальное значение энергии уровня 0_2^+ в ^{150}Gd , обнаруженного нами, хорошо согласуется с расчетами Р. В. Джолоса /14/, основанными на учете коллективных эффектов в этих ядрах.

Установлены спины и четности основных состояний ^{148}Tb и ^{150}Tb - 2^- . Возможно, что структура этих состояний описывается как

$$^{148}\text{Tb} \{ p(d3/2)^1 n(f7/2)^1 \},$$

$$^{150}\text{Tb} \{ p(d3/2)^1 n(f7/2)^3 \}.$$

Результаты исследований, представленных в диссертации, докладывались на XX совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра в Ленинграде в 1970 году; XXI совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра в Москве в 1971 году; XXII совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра в Киеве в 1971 году; XI совещании по ядерной спектроскопии и теории ядра в Дубне в 1969 году; XII совещании по ядерной спектроскопии и теории ядра в Дубне в 1971 году и опубликованы в работах /15-20/.

Литература

1. В.С.Александров, Ф.Дуда, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, З.Зайдлер, Й.Звольски, Е.Т.Кондрат, З.В.Лысенко, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, В.И.Фоминых, М.И.Фоминых, В.М.Цупко-Ситников. Изв. АН СССР, сер. физ., 34, 69 /1970/.
2. M. Gąsior. *Postępy Techniki Jądrowej*, 9-10, 859 (1964) (Poland).
3. J. Adam, V.G. Chumín, Ju.N. Denisov, M. Finger, M. Ya. Kuznetsova, Lu Si-ting, Preprint JINR, E-2494, Dubna, 1965.
4. В.Звольска, Т.Куцарова, А.Куклис, Б.Крацик, З.Махачек, М.Черны. ПТЭ, 5, 134 /1967/.
5. А.А.Абдуразаков, А.И.Ахмаджанов, К.Я.Громов, Т.А.Исламов, Ш.М.Камолхаджаев, М.К.Прокофьев. Препринт ОИЯИ, 6-4363, Дубна, 1969.
6. А.А.Абдуразаков, К.Я.Громов, Г.Я.Умаров. Бета-спектрографы с постоянными магнитами. Изд. ФАН, Ташкент, 1970.
7. В.П.Афанасьев, А.Т.Василенко, И.И.Громова, Ж.Т.Желев, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, Д.Мончка, Ю.Поморски, В.И.Райко, А.В.Ревенко, В.М.Соуроко, В.А.Уткин. Препринт ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.
8. C.M. Lederer, J.M. Hollander, I. Perlman. *Table of Isotopes*, Wiley, New York, 1968.
9. F.J. Schima. *Doctorial Thesis, University of Notre Dame /1963/* /неопубликовано/, результаты приведены в работе J.F. McNulty, F.G. Funk, J.W. Mihelich. *Nucl. Phys.*, 55, 657 (1964).
10. К.Вильский, В.В.Кузнецов, О.Б.Нильсен, О.Скилбрайт, В.А.Халкин. ЯФ, 6, 672 /1967/.
11. В.А.Морозов, Т.М.Муминов, В.И.Разов. Препринт ОИЯИ, 6-4406, Дубна, 1969; ЯФ, 11, 921 /1970/.
12. Э.Е.Берлович. Сб. Структура ядра. Изд. ФАН, Ташкент, 1969.
13. Р.Арльт, В.В.Кузнецов, В.Нойберт, Л.К.Пекер, А.В.Потемпа, У.Хагеманн. Препринт ОИЯИ, Р6-6167, Дубна, 1971.
14. Р.В.Джолос. Препринт ОИЯИ, Р4-5982, Дубна, 1971.

15. Л.А.Вылова, Г.Исхаков, Ф.В.Левчановский, М.Потемпа, В.И.Приходько, А.В.Ревенко, З.Стасхура, В.М.Цупко-Ситников. Препринт ОИЯИ, Д6-5783, стр. 180-182, Дубна, 1971.
16. В.П.Афанасьев, И.И.Громова, Г.Исхаков, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, Н.А.Лебедев. Препринт ОИЯИ, Р6-5151, Дубна, 1970; Изв. АН СССР, сер. физ., 35, 719 /1971/.
17. М.Гонсиор, И.И.Громова, Г.И.Исхаков, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, М.Михайлов, А.В.Потемпа, В.И.Фоминых. *Acta Phys. Polonica*, B2, 307 (1971).
18. Ц.Вылов, К.Я.Громов, И.И.Громова, Г.И.Исхаков, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, Н.А.Лебедев, М.И.Фоминых. Препринт ОИЯИ, Р6-6511, Дубна, 1972; Изв. АН СССР, сер. физ., 36, 2118 /1972/.
19. Ц.Вылов, К.Я.Громов, И.И.Громова, Г.И.Исхаков, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, Н.А.Лебедев, М.И.Фоминых. Изв. АН СССР, сер. физ., 36, 2124 /1972/.
20. Ц.Вылов, К.Я.Громов, И.И.Громова, Г.И.Исхаков, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, А.В.Потемпа, М.И.Фоминых. Препринт ОИЯИ, Р6-6512, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 октября 1972 года.

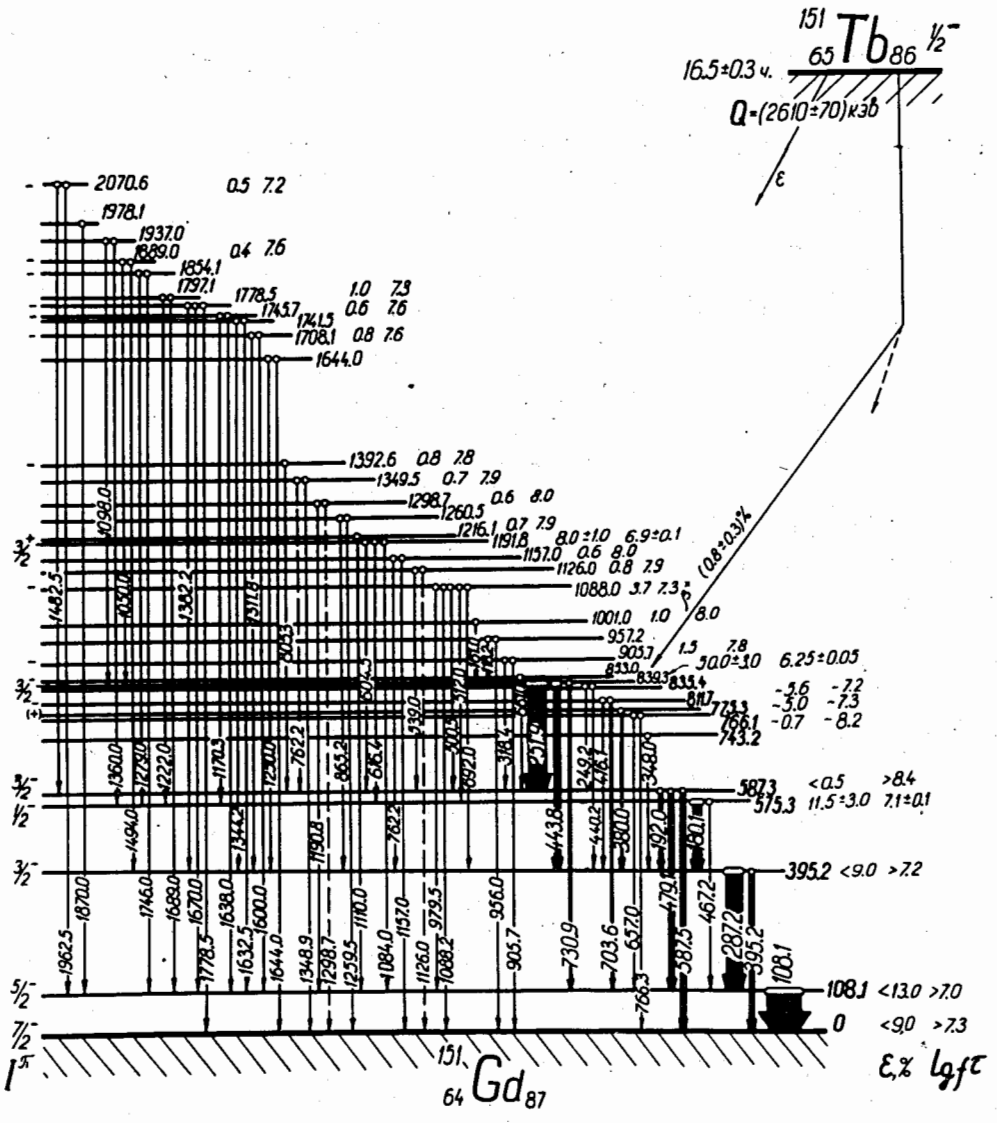


Рис. 1. Схема распада $^{151}Tb \rightarrow ^{151}Gd$.

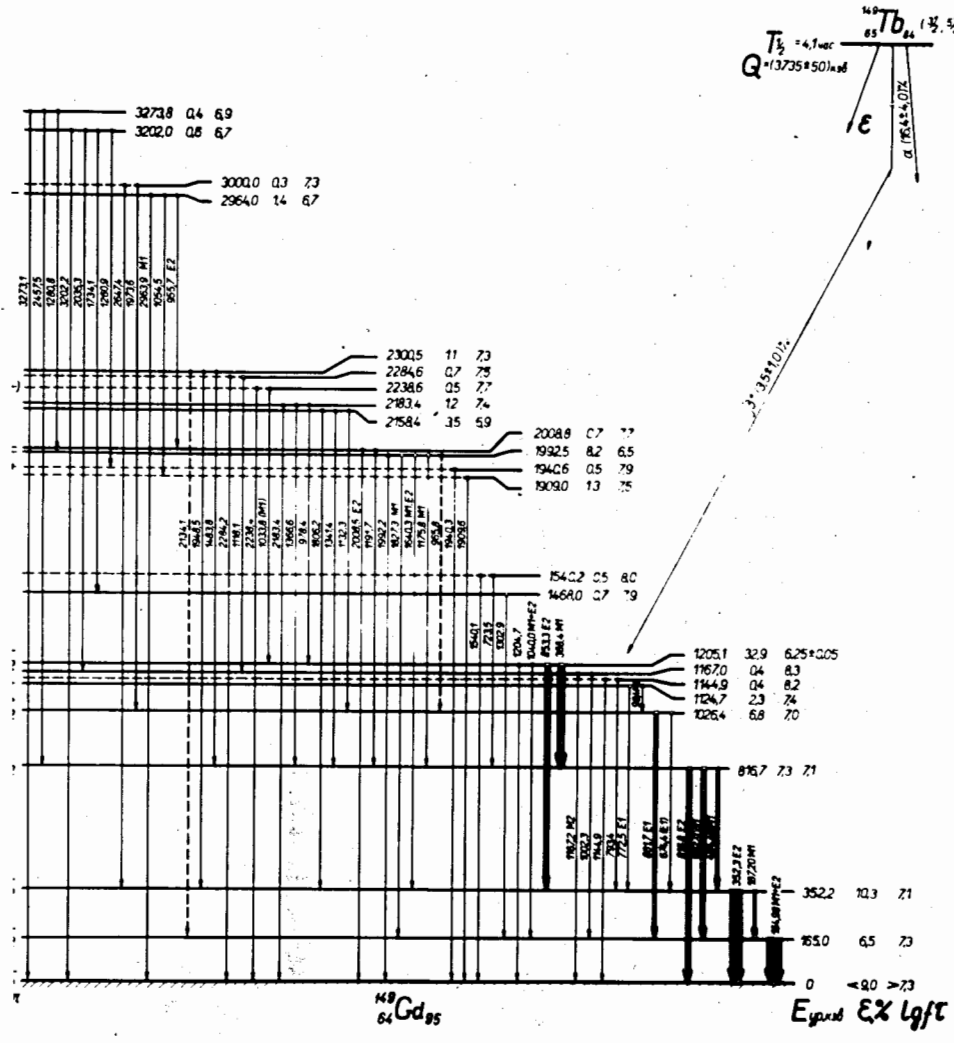


Рис. 2. Схема распада $^{149}Tb \rightarrow ^{149}Gd$.

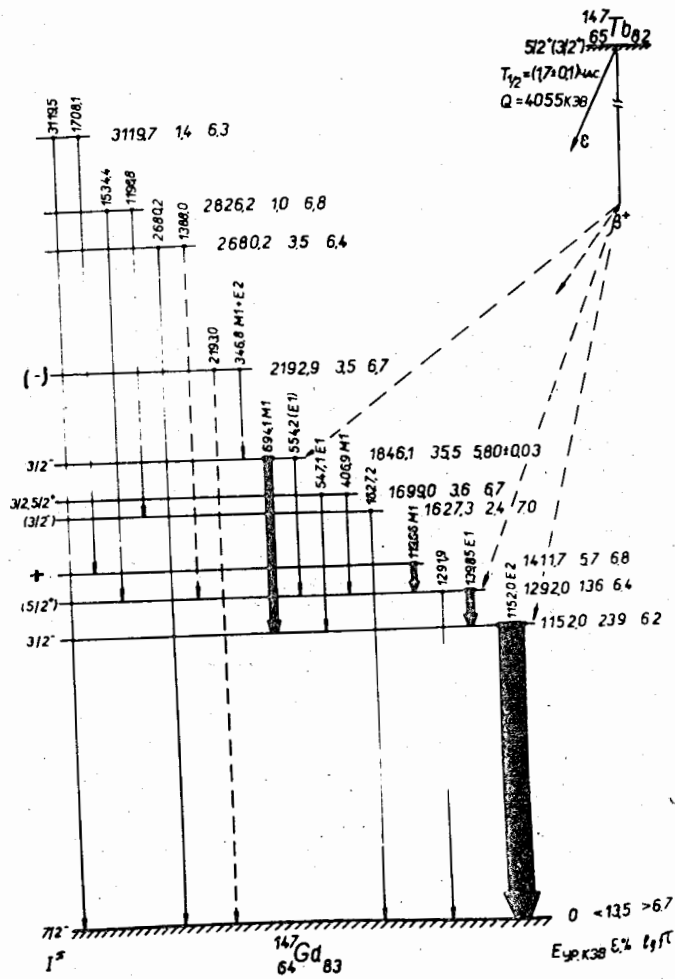


Рис. 3. Схема распада $^{147}\text{Tb} \rightarrow ^{147}\text{Gd}$.

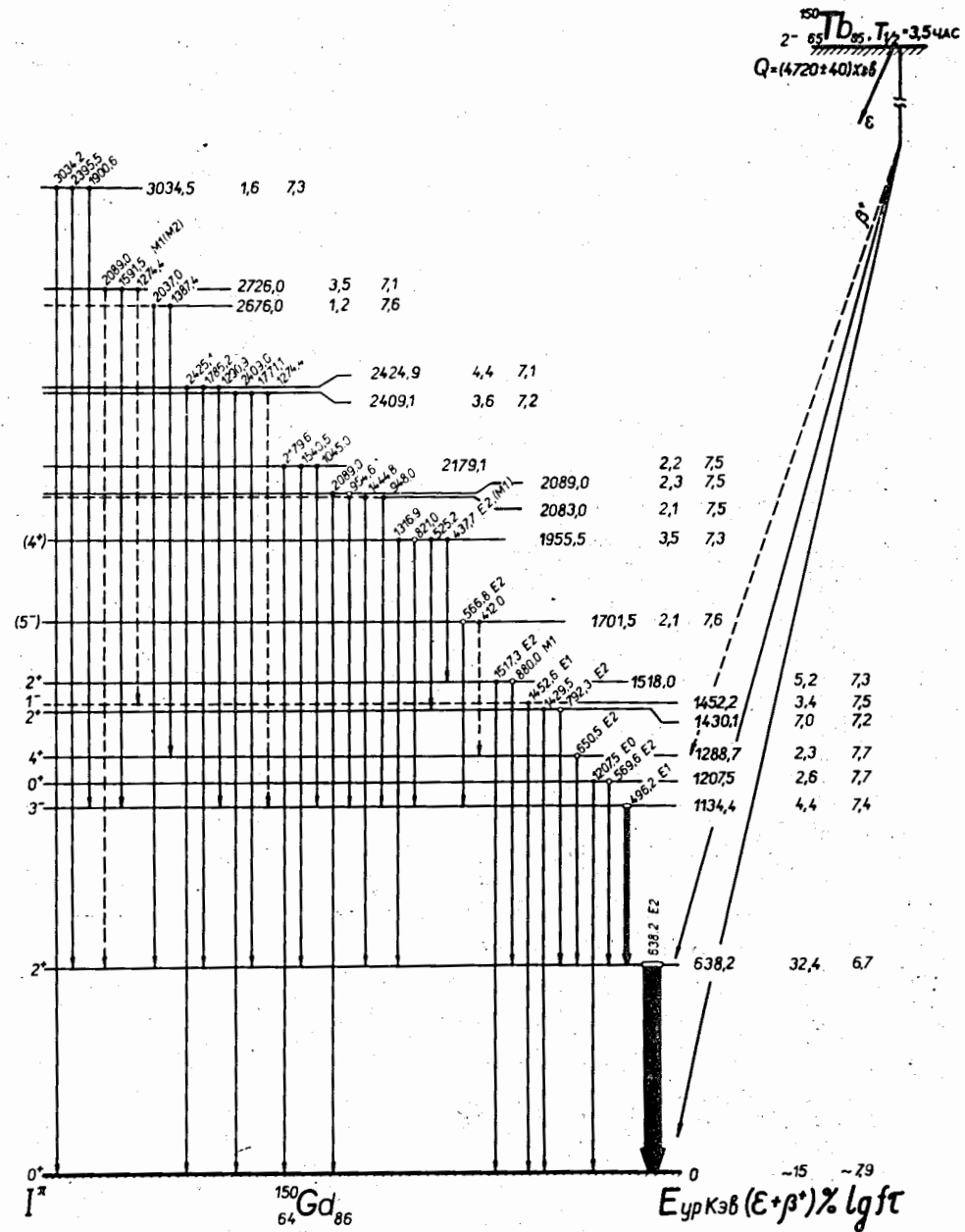


Рис. 4. Схема распада $^{150}\text{Tb} \rightarrow ^{150}\text{Gd}$.

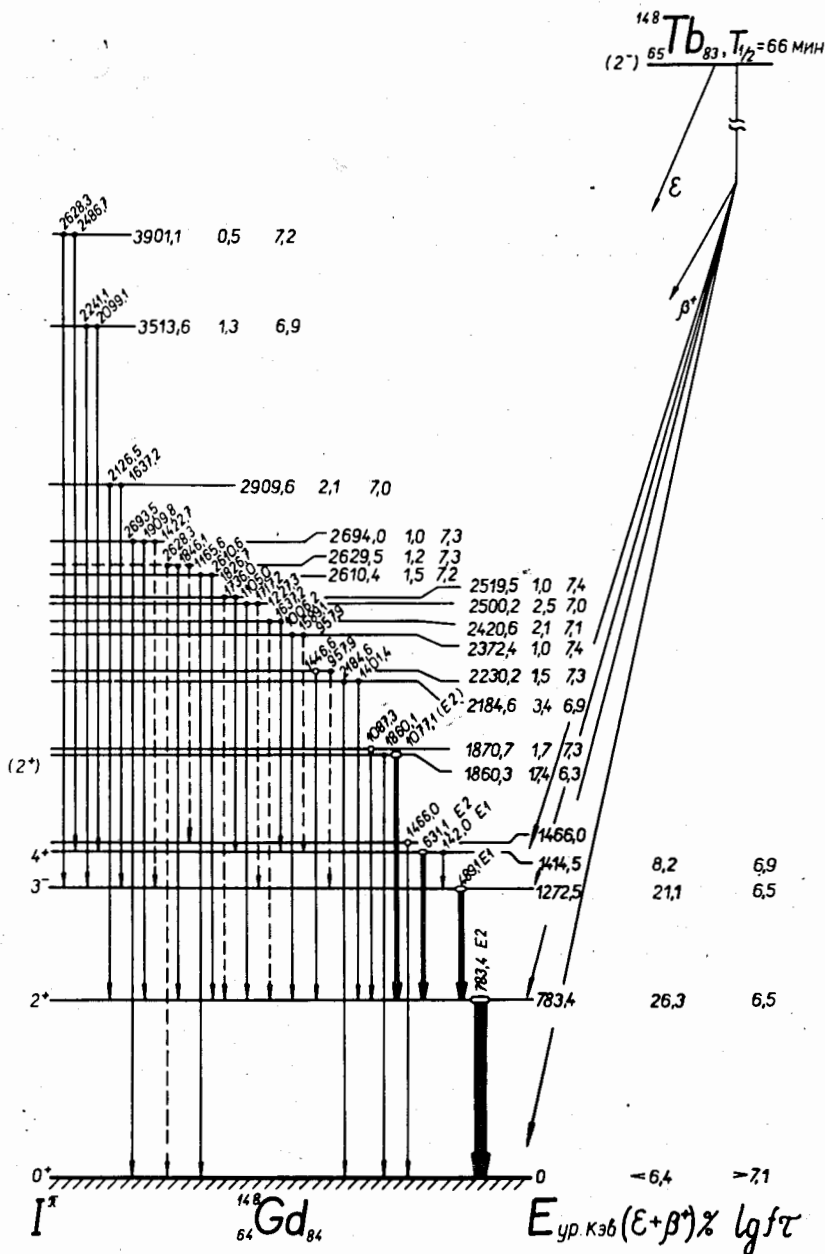


Рис. 5. Схема распада $^{148}\text{Tb} \rightarrow ^{148}\text{Gd}$.