

Ф-594

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

6 - 6359

М.Фингер

СВОЙСТВА ЯДЕР В ОБЛАСТИ ИЗМЕНЕНИЯ
РАВНОВЕСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ.

ИЗУЧЕНИЕ РАСПАДА ИЗОТОПОВ ^{152}Tb И ^{155}Tb

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1972

6 - 6359

М.Фингер

СВОЙСТВА ЯДЕР В ОБЛАСТИ ИЗМЕНЕНИЯ
РАВНОВЕСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ.
ИЗУЧЕНИЕ РАСПАДА ИЗОТОПОВ ^{152}Tb И ^{155}Tb

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук И.Звольски

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук С.А.Баранов,
кандидат физико-математических наук Р.В.Джолос

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт физики АН Латв.ССР г. Рига.

Автореферат разослан " " 1972 г.
Защита диссертации состоится " " 1972 г.
на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных
проблем ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Ю.А.Батусов



Теоретическое понимание свойств сферических и сильнодеформированных ядер основано на обилии экспериментальных данных. Однако имеющиеся в настоящее время модельные представления о ядрах такого типа можно рассматривать как асимптотические пределы для описания реальных ядер. В самом деле, большинство атомных ядер трудно описать одной из моделей, развитых в настоящее время для ядер, которые обладают хорошими вращательными свойствами, или ядер вблизи замкнутых оболочек, в которых проявляются возбуждения вибрационного характера. В этой связи очень важным является систематическое изучение свойств ядер, находящихся между сферическими и сильнодеформированными ядрами. Можно надеяться, что детальное изучение свойств переходных ядер на данном этапе приведет к новым взглядам на сложную систему, какой, несомненно, является атомное ядро.

В настоящей работе проводились экспериментальные исследования уровней нейтронодефицитных ядер ^{152}Gd и ^{155}Gd , возбуждающихся при распаде соответствующих ядер изотопов тербия.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения.

Первая глава посвящена методическим вопросам, связанным с использованием дополняющих друг друга сочетаний физических приборов и методик для проведенных нами экспериментов. Во второй главе приведены полученные экспериментальные результаты исследований излучения, сопровождающего распад ^{152}Tb и ^{155}Tb , предлагаются схемы распада этих изотопов. В третьей главе проводится анализ схем уровней ^{152}Gd и ^{155}Gd , возбуждающихся при распаде ^{152}Tb и ^{155}Tb , соответственно. Полученные данные

сравниваются с имеющимися в настоящее время предсказаниями модельных представлений для этих ядер. Основные выводы, вытекающие из наших исследований, суммируются в заключении данной диссертации.

Изучавшиеся в наших исследованиях нейтронодефицитные изотопы тербия получались хроматографическим выделением из продуктов реакции глубокого расщепления ядер тантала под действием протонов с энергией 660 Мэв. Облучения танталовой мишени проводились на внутреннем пучке синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и составляли 2+17 часов. Основные результаты, полученные в наших исследованиях, следующие:

I. Методика измерений

1) В отделе ядерной спектроскопии и радиохимии Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ нами создан и введен в эксплуатацию магнитный бесфононый бета-спектрометр с двукратной двойной фокусировкой на угол $\pi \cdot \sqrt{2}/1$. Радиус равновесной орбиты спектрометра равен 14 см. Спектрометр может быть использован как в режиме однократной, так и двукратной фокусировки электронов. Прибор обладает разрешением $\sim 0,2\%$ при использовании источника с размерами 1×15 мм. Расчетный телесный угол, определяющий светосилу спектрометра, при разрешении $0,2\%$ для первого фокуса равен $0,25\%$ от 4π . Фон двойных совпадений в случае работы спектрометра в режиме однократной фокусировки равен ~ 5 имп/мин. Фон тройных совпадений для работы спектрометра в режиме двукратной фокусировки меньше одного импульса за сутки.

2) Для питания обмоток электромагнита бета-спектрометра была создана система стабилизации постоянного тока, выполненная на транзисторах^{/2/}. Коэффициент стабилизации постоянного тока в

обмотке электромагнита бета-спектрометра составляет $\sim 3 \times 10^5$. После двухчасового прогрева система обеспечивает стабильность тока с точностью лучшей, чем $\pm 1 \times 10^{-3}\%$. Система позволяет плавную регулировку тока в обмотках электромагнита от 0,3 амп до 15 амп с возможностью управления изменением тока вручную и автоматически.

3) Нами создана полностью транзисторизованная система регистрации и, на основе предложенной Адамом и др.^{/3,4/} системы, полностью транзисторизована система автоматического управления измерительными операциями на бета-спектрометре. Система обеспечивает автоматическое ведение непрерывных измерений с заданными параметрами рабочего цикла и записью полученной информации на печать. Блок-схема установки, обеспечивающей автоматизацию измерений спектров конверсионных электронов, представлена на рис.1.

4) Для точного измерения магнитного поля в бета-спектрометре нами создана система, основанная на самом точном в настоящее время методе измерений магнитных полей - методе ядерного магнитного резонанса с движущимся образцом^{/5/}. Блок-схему установки см. на рис.2. Используемая нами система позволяет производить абсолютные измерения напряженности магнитного поля бета-спектрометра во всем диапазоне магнитных полей без смены датчиков ЯМР. Достигнутая точность определения напряженности магнитного поля для датчика нутации в центре магнита и на его равновесной орбите равна $\pm 0,005\%$ и $\pm 0,02\%$, соответственно.

5) Нами рассмотрена и описана методика обработки двумерных спектров совпадений, ее применение иллюстрируется на примере анализа гамма-гамма-совпадений, полученных на Ge (Li)- детекторах при распаде ^{155}Tb /6,7/. Описанный метод в сочетании с при-

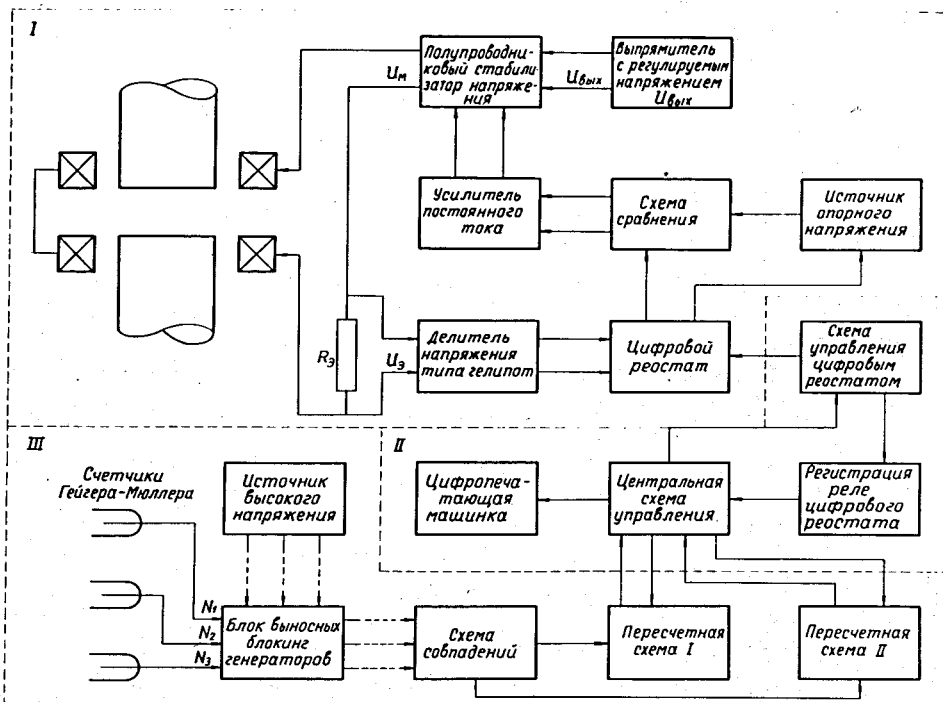


Рис. 1.

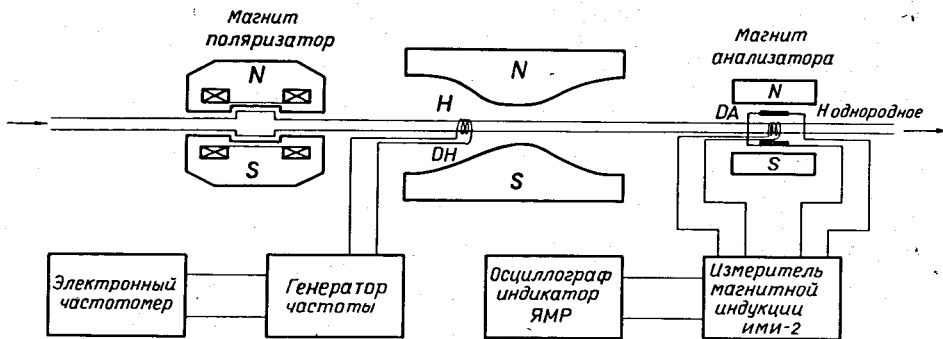


Рис. 2.

менением электронных вычислительных машин для обработки спектров является эффективным средством анализа двумерных спектров совпадений.

II. Исследования распада ^{152}Tb

1) Нами проведены исследования спектров конверсионных электронов на бета-спектрометре с двукратной двойной фокусировкой на угол $\pi \cdot \sqrt{2}$ и спектров гамма-лучей с помощью $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторов в области энергий переходов выше 600 кэВ /8-10/.

В спектре электронов внутренней конверсии обнаружены линии, принадлежащие ~ 200 переходам в ядре ^{152}Gd , из них больше чем половина зарегистрированы впервые.

В спектре гамма-лучей ^{152}Tb зарегистрировано также ~ 200 гамма-переходов, большинство из них впервые.

Определены экспериментальные значения коэффициентов внутренней конверсии для значительного числа переходов в ^{152}Gd , что, в свою очередь, позволило сделать заключение о мультипольности многих из них /8-10/.

На основе полученных нами данных при исследовании спектров конверсионных электронов и гамма-лучей ^{152}Tb , а также результатов, полученных в работе /II/ по изучению спектров гамма-гамма, электрон-гамма и позитрон-гамма-совпадений, нами предлагается схема распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$, представленная на рис.3. По сравнению с результатами предыдущих работ, наши исследования позволили ввести в схему распада $^{152}\text{Tb} \rightarrow ^{152}\text{Gd}$ ряд новых уровней и более надежно приписать квантовые характеристики некоторым ранее известным уровням.

2) Полученные данные о схеме низколежащих уровней ^{152}Gd отражают свойства переходного характера возбужденных состояний это-

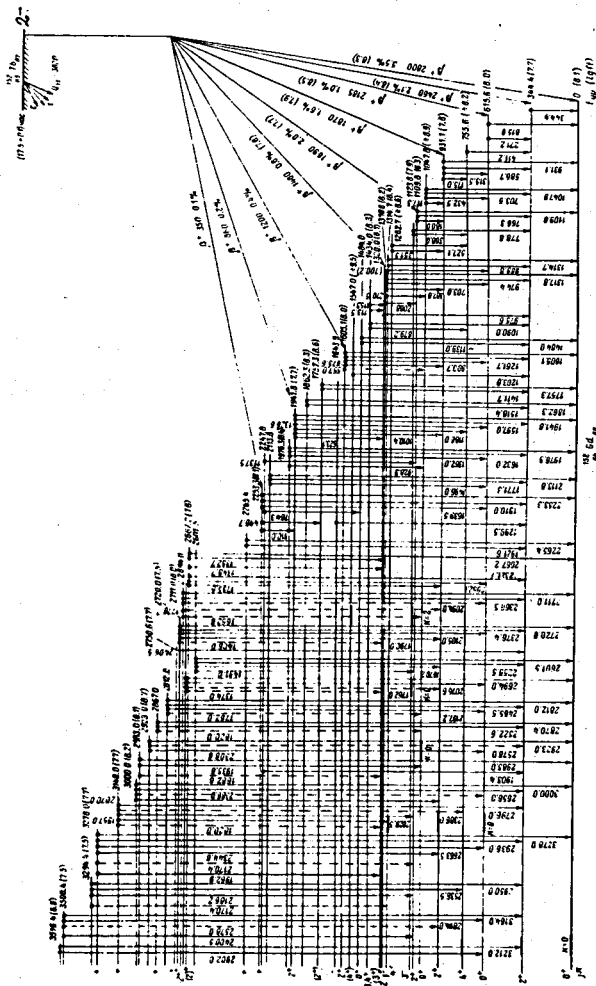


Рис. 3.

го ядра, находящегося между сферическими и сильнодеформированными ядрами. Рассмотрение схемы низколежащих уровней ^{152}Gd с точки зрения имеющихся модельных представлений для сферических и сильнодеформированных ядер встречает серьезные трудности. В связи с этим наши данные, как и результаты работ по $(\alpha, 2n)$ и $(p, 2n)$ реакциям ^{152}Gd , указывают, что эффективное применение для ядра ^{152}Gd имеют представления, предложенные Шелайном $^{13/}$ и Сагай $^{14/}$, согласно которым низколежащие уровни переходных ядер отвечают квазивращательным и квазивибрационным видам возбуждения.

Полученные нами данные подтверждают квазивращательную и квазивибрационную картину низколежащих уровней ^{152}Gd , возбуждающихся при распаде ^{152}Tb (2^-). Указывается, что практически все возбужденные уровни ^{152}Gd при распаде ^{152}Tb в области энергий возбуждения до $\sim 1,5$ Мэв можно интерпретировать как принадлежащие к квазивращательной полосе основного состояния ^{152}Gd , квазибета-вибрационной полосе, квазигамма-вибрационной полосе, октупольной вибративной полосе и вращательной полосе состояния 1047,9 кэв (0^+) - (см. рис.4).

3) Уровни 344,4 кэв (2^+) и 755,6 кэв (4^+) в ядре ^{152}Gd (0^+) при распаде ^{152}Tb (2^-) рассматриваются как члены квазивращательной полосы основного состояния ^{152}Gd (рис.4). Сравнение полученных при распаде ^{152}Tb (2^-) и в работах по изучению $(\alpha, 2n)$ и $(p, 2n)$ реакций ^{152}Gd экспериментальных значений энергий уровней квазивращательной полосы основного состояния ^{152}Gd с теоретическими значениями показало полную неприменимость ротационной формулы как однокомпонентной, так и двухкомпонентной для расчета энергий уровней с высокими спинами. Применение аналитической формулы Соода $^{15/}$ или представлений модели асимметрического рота-

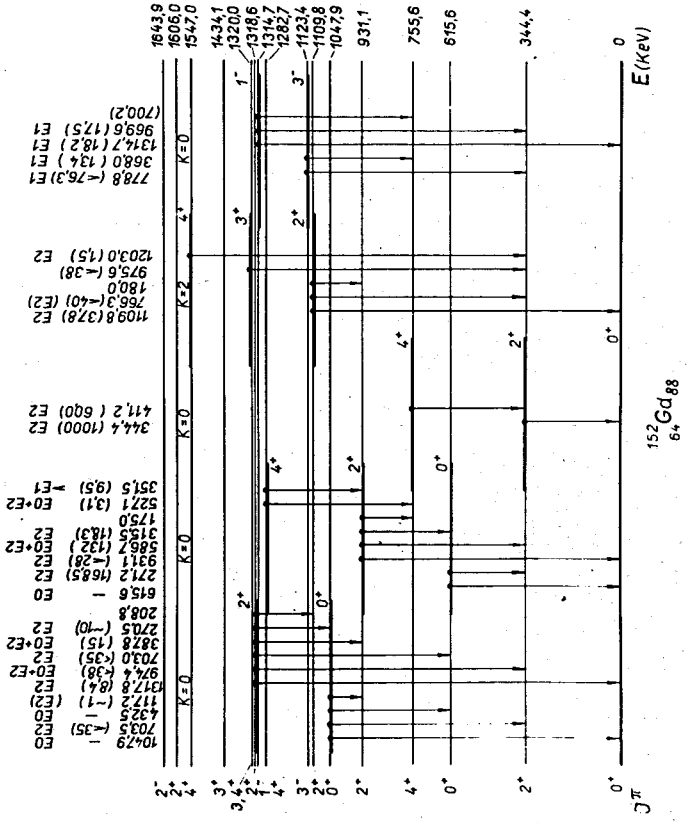


Рис.4. Фрагмент схемы уровней ^{152}Gd , указывающий разрядку нижележащих уровней. Рядом с энергией перехода дана интенсивность соответствующих гамма-лучей в единицах J_γ (344,4 кэв) = 1000.

тора Давыдова-Чабана^{/16/} или расчетов согласно проекционной модели^{/17/}, также не дает удовлетворительного согласия теоретических предсказаний с экспериментом. Лучшее согласие экспериментальных значений энергий уровней получается с энергиями, вычисленными согласно феноменологической модели, предложенной Эжир^{/18/} по формуле $E_I = k \cdot I(I+1) + a \cdot I$ при значении параметров $k=8,35$ и $a = 147,15$ кэв.

Уровни с энергиями 615,6 кэв (0^+); 931,1 кэв (2^+) и 1282,7 кэв (4^+) нами рассматриваются как члены квазибета-вибрационной полосы, основанной на уровне 615,6 кэв (0^+), и уровни 1047,9 кэв (0^+) и 1318,6 кэв (2^+) интерпретируются как члены вращательной полосы, связанной с состоянием 1047,9 кэв (0^+), соответственно. Получены экспериментальные указания на то, что каждый из этих пяти уровней разряжается в соответствующий ему по спину уровень квазивращательной полосы основного состояния излучением типа $E0$ или $E0+M1+E2$. Рассчитаны соответствующие значения параметров μ_K и X . Полученные нами значения параметра Расмуссена ($X < 1$) хорошо согласуются со значениями, полученными из систематики для уровней бета-вибрационного характера.

Уровни с энергиями 1109,8 кэв (2^+) и 1320,2 кэв (3^+) в ядре ^{152}Gd при распаде ^{152}Tb (2^-) нами рассматриваются как члены квазигамма-вибрационной полосы.

Уровни с энергиями 1123,4 кэв (3^-) и 1314,7 кэв (1^-) в ядре ^{152}Gd при распаде ^{152}Tb (2^-) интерпретируются как члены октупольной вибрационной полосы.

4) Полученные в настоящее время экспериментальные данные находятся в согласии со значением спина и четности для основного состояния ^{152}Tb - 2^- . Для этого состояния нечетно-нечетного ядра

^{152}Tb можно предположить следующие возможные конфигурации:

$$\{p 411 \uparrow + n 530 \uparrow\} \text{ или } \{p 413 \uparrow + n 530 \uparrow\}.$$

5). На основе наших данных и данных других авторов проведена систематика энергий низколежащих уровней четно-четных ядер гадолиния с $A = 148-160$ и $Z = 64$, а также ядер ^{148}Nd , ^{150}Sm , ^{152}Gd и ^{154}Dy , имеющих одинаковое число нейтронов. Проведены сравнения данных о переходах, разряжающих соответствующие низколежащие уровни четно-четных ядер гадолиния.

Наблюдается плавное изменение энергий низколежащих коллективных состояний с изменением числа нейтронов, см. рис.5. Энергии уровней вращательной полосы основного состояния непрерывно уменьшаются с увеличением числа нейтронов, затем энергии уровней бета-вибрационной полосы быстро возрастают. Энергии уровней гамма- и октупольно-вибрационных полос практически не зависят от числа нейтронов. Характерной чертой здесь является опускание уровней бета-вибрационной полосы ниже уровней гамма-вибрационной полосы для ядер $^{152,154,156}\text{Gd}$ в отличие от ситуации для сильнодеформированных ядер в середине области редких земель. В области ^{154}Gd наблюдается изменение порядка уровней октупольной полосы от порядка $1^-, 3^-, 5^-$ в $^{154-160}\text{Gd}$ к порядку $3^-, 1^-, 5^-$ в ^{152}Gd . Наблюдается значительное ослабление $B(E2, 2_2^+ \rightarrow 0_1^+)$ и $B(E2, 2_2^+ \rightarrow 0_1^+)$ при переходе от ^{156}Gd к ^{152}Gd , так как отношение приведенных вероятностей переходов, разряжающих 2_3^+ уровень на уровни вращательной полосы основного состояния, практически не зависит в данной области ядер гадолиния от деформации ядра.

Систематика энергий низколежащих состояний четно-четных ядер с $N = 88$ указывает, что схемы уровней этих ядер похожи друг на друга.

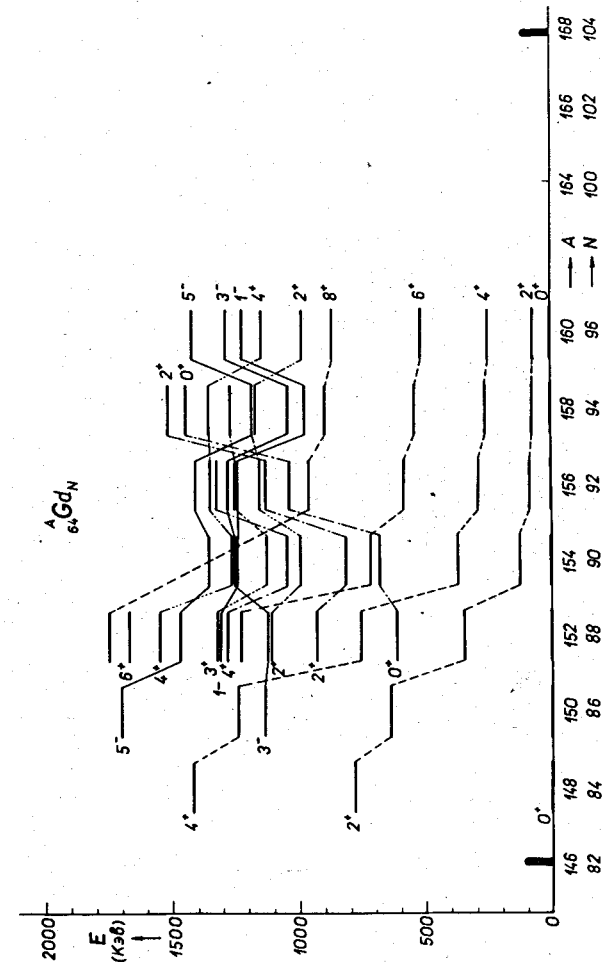


Рис. 5.

III. Исследования распада ^{155}Tb

1) Нами проведено исследование излучения сопровождающего распад ^{155}Tb /19-23/. Измерялись спектры конверсионных электронов, спектры гамма-лучей, спектры электрон-гамма и гамма-гамма-совпадений.

Спектры конверсионных электронов измерялись на тороидальном шестизазорном бета-спектрометре (в области энергий 30-370 кэВ) и на бета-спектрометре с двукратной двойной фокусировкой, работающим как в режиме однократной фокусировки (50-570 кэВ), так и в режиме двукратной фокусировки (130-670 кэВ).

Спектр гамма-лучей изучался в энергетической области 30-1000 кэВ с использованием Ge (Li) - детекторов. В спектре гамма-лучей ^{155}Tb зафиксировано 65 гамма-переходов, из них 44 наблюдались в гамма-спектре впервые, причем 21 переход ранее не наблюдался также и в спектре конверсионных электронов.

Спектры электрон-гамма-совпадений изучались на тороидальном шестизазорном бета-спектрометре и NaI(Tl) гамма-спектрометре.

Исследования спектров гамма-гамма-совпадений проводились методом двумерного анализа с использованием двух коаксиальных Ge(Li) -детекторов.

В результате дополняющих друг друга экспериментов и данных других авторов, мы получили экспериментальные сведения об энергиях и относительных интенсивностях 77 переходов при распаде ^{155}Tb . В результате количественного анализа спектров совпадений мы смогли сделать определенные заключения о ~ 70 каскадах из этих переходов.

На основе полученных экспериментальных значений коэффициентов внутренней конверсии мы смогли сделать заключения о мультипольности большинства наблюдаемых переходов.

Предложенная схема распада $^{155}\text{Tb} \rightarrow ^{155}\text{Gd}$ состоит из 19 уровней и приводится на рис.6. Суммарная интенсивность не включенных в схему распада переходов составляет < 0,5% на распад. Семнадцать уровней подтверждаются из анализа электрон-гамма и гамма-гамма-совпадений. Сделаны заключения о спинах и четностях наблюдаемых уровней. Определена доля электронного захвата в ^{155}Tb на основное состояние ^{155}Gd . Она оказалась равной 32%, что находится в хорошем согласии с величиной 30%, полученной в работе /24/. Определены абсолютные интенсивности переходов, сопровождающих распад ^{155}Tb , интенсивности заселения уровней ^{155}Gd при электронном захвате в ^{155}Tb и вычислены соответствующие значения $\log ft$ (см. рис.6).

2) Полученные данные о схеме-уровней ^{155}Gd рассматриваются с точки зрения обобщенной и сверхтекучей модели ядра.

Указывается, что поведение всех наблюдаемых нами уровней с отрицательной четностью можно объяснить в рамках этих модельных представлений.

Особенно интересным в схеме возбужденных уровней ^{155}Gd при распаде ^{155}Tb является обнаружение и идентификация уровней бета- и гамма-вибрационной природы и связанных с ними вращательных полос.

Ситуация с интерпретацией уровней ядра ^{155}Gd с положительной четностью более затруднена. Экспериментальные результаты, имеющиеся в настоящее время, указывают на то, что наблюдаемые нами низколежащие уровни ^{155}Gd при распаде ^{155}Tb с положительной четностью, по-видимому, не являются чистыми нильссоновскими

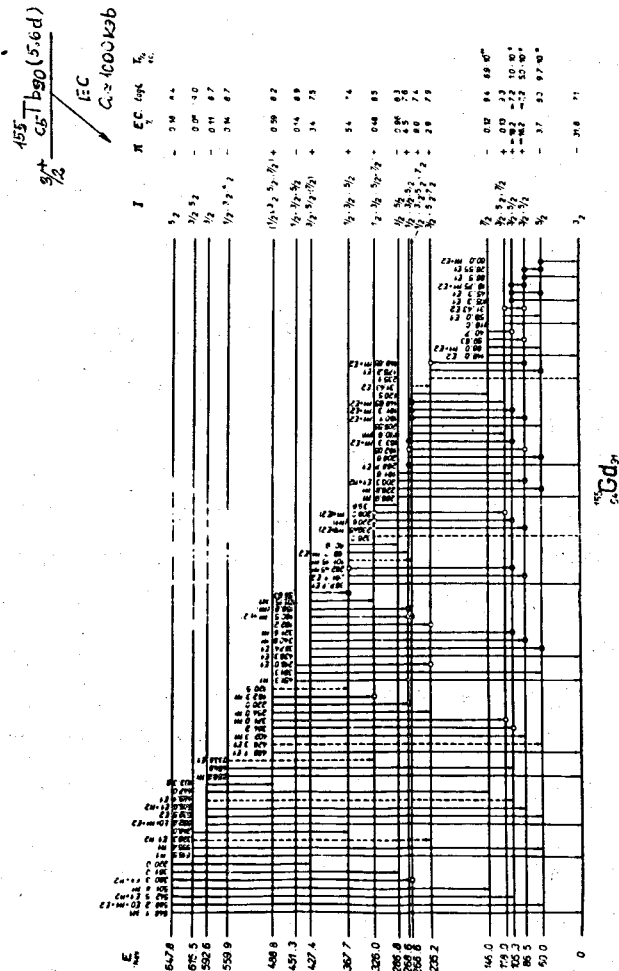


Рис. 6.

состояниями. Сверхтекучая модель ядра в настоящее время не улучшает данную ситуацию. Для того, чтобы лучше понять природу этих состояний, необходимо провести новые как теоретические, так и экспериментальные исследования.

3) Возможная интерпретация уровней ^{155}Gd , наблюдаемых при распаде ^{155}Tb , приведена на рис.7. Здесь указаны нильссоновские состояния, которые дают преобладающий вклад в волновую функцию соответствующих состояний ^{155}Gd .

При распаде ^{155}Tb в ядре ^{155}Gd наблюдается возбуждение уровней $5/2^-$ и $7/2^-$ вращательной полосы основного состояния $3/2^-$ [521].

Нами при распаде ^{155}Tb идентифицировано только одно состояние, связанное с орбиталью [532] \downarrow (состояние $3/2$ с энергией 286,8 кэВ). Заселение уровня с $J^\pi = 5/2^-$ этой конфигурации, так же как и уровней, связанных с нильссоновским состоянием [523] \downarrow , по-видимому, трудно наблюдать при распаде ^{155}Tb .

Из уровней вращательной полосы состояния [530] \uparrow мы смогли идентифицировать при распаде ^{155}Tb только уровень $3/2$ при энергии 451,3 кэВ.

Введенные нами в схему возбужденных уровней ^{155}Gd , уровни отрицательной четности с энергиями 559,9 кэВ и 615,5 кэВ идентифицируются как первые два члена вращательной полосы состояния [521] \downarrow . Анализ наших данных и данных работ по изучению (α, p) и (α, t)-реакций указывает на наличие смешивания состояния [521] \downarrow с гамма-вибрационным состоянием $\{[521]\uparrow + \gamma\}$, связанным с основным состоянием ^{155}Gd . Экспериментальное значение параметра развязки $a = 0,37$ меньше значения 0,9, ожидаемого для чистого нильссоновского состояния [521] \downarrow , что, в свою очередь, указывает на сильное смешивание конфигураций.

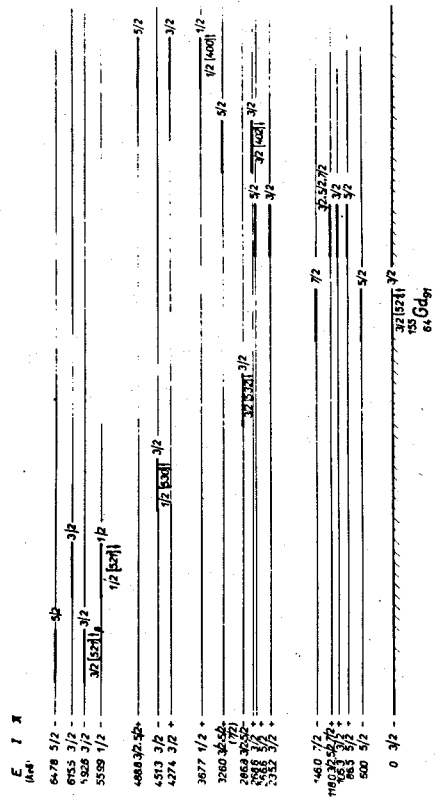


Рис. 7.

Наблюдаемая нами значительная примесь Е0 мультипольности в переходах с энергиями 592,8 кэВ и 647,8 кэВ, идущих на основное состояние и на уровень 60,0 кэВ, соответственно, позволяет интерпретировать уровни с энергиями 592,8 кэВ и 647,8 кэВ как первые два члена вращательной полосы бета-вибрационного состояния, связанного с основным состоянием ^{155}Gd . На основе полученных нами данных и результатов работ по кулоновскому возбуждению ^{155}Gd /25/, мы оценили значение параметра $\{ \rho \}$ для уровня 592,6 кэВ. Оно оказалось равным $\{ \rho_k \} = \{ \rho_l \} \approx 0,4$. Полученные значения параметра Расмуссена $X(592,6) = 0,78 \pm 0,25$ и $X(647,8) = 0,54$ близки к значениям этих параметров для уровней бета-вибрационных полос соседних четно-четных ядер гадолиния.

Уровни с энергиями 367,7 кэВ ($1/2^+$), 427,4 кэВ ($3/2^+$) и 488,8 кэВ ($3/2^+$, $5/2^+$) в ядре ^{155}Gd при распаде ^{155}Tb нами рассматриваются как члены вращательной полосы состояния $[400] \uparrow$. Рассчитанное значение параметра развязки $a = +0,24$.

Уровни с энергиями 268,6 кэВ ($3/2^+$) и 326,0 кэВ ($3/2^+$, $5/2^+$) интерпретируются как члены вращательной полосы состояния $[402] \downarrow$.

Совокупность имеющихся в настоящее время данных о схеме уровней ^{155}Gd указывает, что низколежащие уровни с положительной четностью не могут быть описаны в рамках чистых нильссоновских состояний. Приведенные вероятности переходов, магнитные и квадрупольные моменты низколежащих состояний сильно отличаются от предсказаний обобщенной модели.

4) Сравнение полученных экспериментальных данных с расчетами Соловьева и Фогеля /26/, основанных на сверхтекучей модели ядра, позволяет приписать состоянию с энергией 592,6 кэВ структуру $[521] \uparrow - 0,7\%$; $[521] \uparrow + Q_1(20) - 99\%$ и интерпретировать состояние с энергией 559,9 кэВ как смешанное состояние типа:

$[521]\downarrow - 42\%$; $[521]\uparrow + q_1(22) - 37\%$; $[523]\downarrow + q_1(22) - 16\%$.

Первый уровень согласно расчетам является довольно чистым бета-вибрационным состоянием. Рассчитанное значение его энергии получено несколько завышенным по сравнению с экспериментальным значением. Второе состояние имеет сложную структуру. Большую роль в данном случае играет примесь гамма-вибрационного состояния, связанного с основным состоянием $^{155}\text{Gd} - [521]\uparrow$.

Экспериментальные значения параметров развязки для уровней с $k = 1/2$ $[521]\downarrow$ $a = 0,37$ и $[400]\uparrow$ $a = 0,24$ (предсказания модели Нильссона 0,9 и $0,35^{27/}$, соответственно, предсказания модели Соловьева и др.^{26/} 0,36 и 0,30, соответственно) находятся в лучшем согласии с данными работ Соловьева и др.

Результаты работ, вошедших в диссертацию, должны на XVI (1966г.), XVII (1968г.) и XX (1970г.) ежегодных всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, на Международной конференции по ядерной физике в Гаттлинбурге, США в 1966г., на IX Совещании по ядерной спектроскопии и теории ядра в г.Дубне (1967г.), на VII Международной зимней конференции по ядерной физике в Вилларсе, Швейцария, в 1970 г. и опубликованы в печати^{1,2,6-10,19-23}.

ЛИТЕРАТУРА

1. J.Adam, V.G.Chumin, Ju.N.Denisov, M.Finger, K.Ya.Gromov, M.Ya.Kuznetsova and Lu Si-tin.
Preprint E-2494, JINR, Dubna 1965.
 2. И.Адам, Ю.Н.Денисов, С.А.Ивашкевич, М.Фингер
а) Препринт ОИЯИ, 1589, Дубна, 1964г.
б) ПТЭ № 2, 136 (1965).
 3. И.Адам, Ю.Н.Денисов, А.Кокеш, В.Г.Чумин, П.Т.Шишляников
а) Препринт ОИЯИ 2169, Дубна, 1965г.
б) Изв. АН СССР, сер.физ., 29, 2147 (1965).
 4. И.Адам Автореферат диссертации ОИЯИ, 6-444I Дубна 1969 г.
 5. а) А.И.Жерновой, Ю.С.Егоров, Г.Д.Латышев.
ПТЭ, № 5, 71 (1958).
б) А.И.Жерновой, Г.Д.Латышев. Ядерных магнитный резонанс в проточной жидкости. М., Атомиздат, 1964.
 6. П.Галан, М.Я.Кузнецова, Г.Фингер и И.Юрси́к.
Препринт ОИЯИ, P6-3479, Дубна, 1967г.
 7. П.Галан, М.Я.Кузнецова, Г.Фингер и И.Юрси́к
Czech.J.Phys., B19, 232 (1969).
 8. K.Ya.Gromov, V.V.Kuznetsov, M.Ya.Kuznetsova, M.Finger, J.Urbancs, O.B.Nielsen, K.Wilsky, O.Skilbreid and M.Jorgensen.
а) Nucl.Phys., A99, 585(1967).
б) Изв. АН СССР, сер.физ., 31, 154 (1967).
 9. 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 и М.Фингер. Препринт ОИЯИ, 6-4721, Дубна, 1969г.
 10. 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 и М.Фингер
а) Материалы XX Ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра, М.-Л., 1970;
б) Изв. АН СССР, сер.физ., 34, № 4, 813 (1970).
- II. В.В.Кузнецов Автореферат диссертации ОИЯИ, 7-3789 Дубна 1968 г.

12. Y.Gono, M.Ishihara and M.Sakai. International Symposium on Nuclear Structure, Dubna, D-3893, U.S.S.R., July, 4-11 (1968) p.26.
13. R.K.Sheline, Rev.Mod.Phys., 32, 1(1960).
14. M.Sakai, Nucl.Phys., A104, 301, (1967).
15. P.C.Sood, Phys.Rev., 161, 1063(1967).
16. A.S.Davydov and A.A.Chaban, Nucl.Phys., 20, 499(1960).
17. P.Haapakoski, T.Honkaranta and P.O.Lipas. Phys.Lett., 31B, 493(1970).
18. H.Ejiri, Inst.Nucl.Study, Reports INS-J 101(1966) and INS-J 104(1967).
19. M.Finger, P.Galan, M.Kuznetsova, J.Liptak, J.Urbancic and J.Vrzal.
 - a) Preprint E-2908, Dubna 1966.
 - b) Proceedings of the International Conference on Nuclear Physics, Gattlinburg, 1966.
20. Я.Врзал, П.Галан, М.Я.Кузнецова, Я.Липтак, Я.Урбанец, М.Фингер. Материалы IX совещания по ядерной спектроскопии нейтронодефицитных изотопов и теории деформированных ядер. Препринт 6-3036, Дубна, 1967г.
21. П.Галан, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, О.Б.Нильсен, Я.Урбанец, М.Фингер, Д.Христов и И.Юршик. Материалы XIII Ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра. М.-Л., 1968.
22. П.Галан, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, О.Б.Нильсен, Я.Урбанец, М.Фингер, Д.Христов и И.Юршик. Препринт ОИЯИ, P6-3695, Дубна, 1968г.
23. P.Galan, V.V.Kuznetsov, M.Ya.Kuznetsova, J.Urbancic, M.Finger, D.Khristov, O.B.Nielsen and J.Jursik. Czech.J.Phys., B19, 1153(1969).
24. P.H.Blichert-Toft, E.G.Funk and J.W.Mihelich. Nucl.Phys., A96, 190(1967).
25. A.Tvetter and B.Herskind. Nucl.Phys., A134, 599(1969).
26. В.Г.Соловьев, П. Фогель и Г.Юнгклаусен. Изв.АН СССР, сер.физ. 31, 518 (1967)
27. S.G.Nilsson, Kgl.Danske Vidensk.Selsk.Mat.Fys.Medd., 29, No16, 1-68(1955).

Рукопись поступила в издательский отдел
31 марта 1972 г.