



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Ф - 594

6-80-455

**ФИНГЕР Мирослав**

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ЯДЕР  
ПЕРЕХОДНОЙ ОБЛАСТИ  
С  $A \sim 150$  МЕТОДОМ ЯДЕРНОГО  
ОРИЕНТИРОВАНИЯ**

**Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра  
и элементарных частиц**

**Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук**

Дубна 1980

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

профессор

Ю.М.Казаринов

доктор физико-математических наук

профессор

А.И.Феоктистов

доктор физико-математических наук

профессор

В.С.Шпинель

Ведущее научно-исследовательское учреждение - Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова, Москва.

Защита диссертации состоится " " 1980 г. в

" " часов на заседании Специализированного совета Д.047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 1980 г.

Ученый секретарь

Специализированного совета:

доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

Актуальность проблемы. Одной из актуальных проблем экспериментальной ядерной физики в области исследования структуры атомного ядра является изучение свойств ядер, удаленных от области бета-стабильности. В этой связи большие усилия направлены в настоящее время на разработку эффективных методов получения радиоактивных ядер в широком диапазоне атомных и массовых чисел и систематические исследования их свойств. Очевидно, что успех в решении встречающихся здесь задач в большей степени связан с эффективным применением для экспериментальных исследований современной техники и оригинальных установок и подходов.

С точки зрения теоретического понимания свойств ядер, удаленных от области бета-стабильности, оказывается, что большинство таких ядер трудно описать в рамках представлений, развитых в настоящее время для ядер, которые обладают хорошими вращательными свойствами, или для ядер вблизи замкнутых оболочек, в которых проявляются возбуждения вибрационного характера. Теоретическое понимание свойств сильнодеформированных и сферических ядер основано на обилии экспериментальных данных. Однако имеющиеся в настоящее время модельные представления о ядрах такого типа можно рассматривать лишь как асимптотические пределы для описания большинства реальных ядер. В этой связи представляется очень важным систематическое изучение свойств ядер переходного характера, исследуя которые можно было бы проверить границы применимости имеющихся в настоящее время модельных представлений и выявить закономерности, требующие для своего объяснения развития новых идей.

Цель работы. В настоящей работе поставлена и решена задача создания физического комплекса, основанного на использовании сверхтонкого взаимодействия при низких температурах ( $\sim 0,01$  К), для исследования распада ориентированных радиоактивных ядер в широком диапазоне атомных и массовых чисел с периодами полураспада

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

больше одного часа (установка "СПИН"). На установке "СПИН" проведены систематические исследования свойств ядер переходной области с  $A \sim 150$ . Изучен распад ядер тербия с массовым числом  $A = 148, 150, 152, 153, 154, 155, 156$  и  $160$ .

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Создан физический комплекс для исследования распада ориентированных радиоактивных ядер в широком диапазоне  $Z$ ,  $A$  с периодами полураспада больше одного часа, основанный на применении для ядерного ориентирования техники, базирующейся на использовании сверхтонкого взаимодействия при сверхнизких температурах, получаемых с помощью  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$  рефрижератора, - установка "СПИН".

Для проведения физических исследований на установке "СПИН" создана методика для

- исследования углового распределения гамма-излучения ориентированных ядер и его температурной зависимости;
- измерения ядерного магнитного резонанса при помощи ядерного излучения;
- изучения линейной поляризации гамма-излучения при помощи комптоновского поляриметра на базе плоского  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора.

Рассмотрены и решены методические вопросы, связанные с проведением экспериментов на установке "СПИН", обработкой и физическим анализом получаемых экспериментальных данных.

2. Исследовано сверхтонкое взаимодействие изотопов тербия с массовым числом  $A = 160, 156, 155$  и  $153$  в матрице гадолиния. Получены значения величин сверхтонкого магнитного поля на ядрах тербия в матрице гадолиния, значения параметра сверхтонкого магнитного дипольного взаимодействия для  $^{160}\text{Tb}(\text{Gd})$ ,  $^{156}\text{Tb}(\text{Gd})$ ,  $^{155}\text{Tb}(\text{Gd})$ , нижняя граница этого параметра для  $^{153}\text{Tb}(\text{Gd})$  и значения параметра сверхтонкого электрического квадрупольного взаимодействия для  $^{160}\text{Tb}(\text{Gd})$  и  $^{156}\text{Tb}(\text{Gd})$ .

3. Методом ядерного ориентирования на установке "СПИН" проведены систематические исследования распада ориентированных радиоактивных ядер изотопов тербия с четным массовым числом  $A=160, 156, 154, 152$  и  $150$ . Получена большая физическая информация о характере излучения, сопровождающего распад этих изотопов, установлены квантовые характеристики многих ядерных уровней в ядрах гадолиния с массовым числом  $A = 156, 154, 152, 150$  и в ядре диспрозия с  $A=160$ , проанализирована структура этих состояний.

4. Проведены исследования распада ориентированных ядер изотопов тербия с нечетным массовым числом  $A=155$  и  $153$ . Получена большая физическая информация о характере излучения, сопровождающего распад этих изотопов. Установлены квантовые характеристики большинства низколежащих энергетических уровней в ядрах  $^{155}\text{Gd}$  и  $^{153}\text{Gd}$ , проанализирована структура этих состояний.

#### Практическая ценность работы

1. Работы, представленные в диссертации, открывают перспективное направление, связанное с широкими возможностями применения ориентированных радиоактивных ядер в физических экспериментах. Применение техники, основанной на ядерной ориентации, дает большие возможности для исследований в области изучения структуры атомного ядра, для изучения некоторых свойств фундаментальных взаимодействий, позволяет эффективно решать ряд задач основных и прикладных исследований из области атомной физики и физики конденсированных сред, способствует широкому взаимному использованию результатов фундаментальных исследований в смежных областях науки и техники, на практике.

2. Установка "СПИН" стала мощным средством для получения прецизионной информации о свойствах ядер, удаленных от области бета-стабильности, в исследованиях, проводимых в ОИЯИ. Полученные результаты создали возможности для развития этого нового направления исследований и вне ОИЯИ. Такие работы ведутся в ЧССР\*.

3. Результаты проведенных исследований распада ориентированных ядер изотопов тербия существенно дополнили систематику свойств ядер переходной области с  $A \sim 150$ , что важно для дальнейшего развития теоретических представлений о ядрах этой области.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 258 страницах, включая 30 таблиц (на 33 страницах), 33 рисунка (на 24 страницах) и 220 библиографических ссылок (на 15 страницах), разделенных по главам.

Апробация работы и публикации по теме диссертации. Результаты работ, вошедших в диссертацию, были представлены на XXIII (1973 г.), XXIV + XXV (1977-1980 гг) Всесоюзных ежегодных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, СССР; IY (1975 г.), Y (1977 г.) и VI (1979 г.) конференциях чехословацких физиков, ЧССР; XV Совещании по ядерной спектроскопии и теории

\* M. Finger et al. Acta Polytechnica, CVUT, Prague, IV, 3 (1974), p.49-67.

ядра в Дубне (1978 г.); I (1975 г., Дубна) и II (1977 г., Бехине) рабочих совещаниях по установке "СПИН"; Международной конференции по ядерной физике в Гаттлинбурге, США, 1970 г.; УП Международной зимней конференции по ядерной физике в г.Виилларсе, Швейцария, 1970 г.; Международной конференции по низкотемпературному ядерному ориентированию, Оксфорд, Великобритания, 1976 г.; Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра, Дубна, 1976 г., а также обсуждались на семинарах научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии ЛЯП ОИЯИ. Основные результаты опубликованы в 17 работах (в виде препринтов и сообщений ОИЯИ; в сборнике "Прикладная ядерная спектроскопия", Атомиздат, М., в журналах "Известия АН СССР"; "Nucl. Phys."; "Czech. J. Phys."; "J. Phys. G: Nucl. Phys.") и 6 сборниках тезисов докладов.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко рассматривается актуальность проблемы изучения свойств ядер, удаленных от линии бета-стабильности, обоснованы и сформулированы основные физические и методические задачи, решение которых посвящена предложенная диссертационная работа, а также дается обзор диссертации по главам.

В первой главе рассмотрены основные вопросы, связанные с описанием ансамбля ориентированных ядер и теорией углового распределения направления и поляризации гамма-излучения ориентированных радиоактивных ядер. Основное внимание уделено вопросам, связанным с ориентацией ансамбля ядер с помощью взаимодействия электромагнитных полей со статическими электромагнитными моментами ядер при низких температурах.

Детально рассмотрено угловое распределение гамма-излучения аксиально-симметричных ориентированных состояний ядер, в том числе: угловое распределение циркулярной и линейной поляризации, угловое распределение направления гамма-излучения и влияние на эти распределения ненаблюдаемых переходов. Рассматриваются также вопросы, связанные с сохранением пространственной четности и временной инвариантности при исследовании углового распределения и угловых корреляций гамма-излучения поляризованных ядер.

Во второй главе описывается созданный физический комплекс для исследований распада короткоживущих ориентированных ядер в широком диапазоне атомных и массовых чисел с периодами полураспада больше одного часа, базирующийся на использовании сверхтонкого взаимодействия при сверхнизких температурах ( $\sim 0,01$  К) -

установка "СПИН"<sup>1/1</sup>. В настоящее время с помощью установки "СПИН" можно измерять угловое распределение гамма-излучения ориентированных ядер и его температурную зависимость<sup>1/1</sup>, ядерный магнитный резонанс на ориентированных ядрах (ЯМР/ОЯ)<sup>1/2</sup>, поляризацию гамма-излучения ориентированных ядер<sup>3/3</sup>. Структурная схема установки "СПИН" и ее внешние связи показаны на рис. 1 и 2.

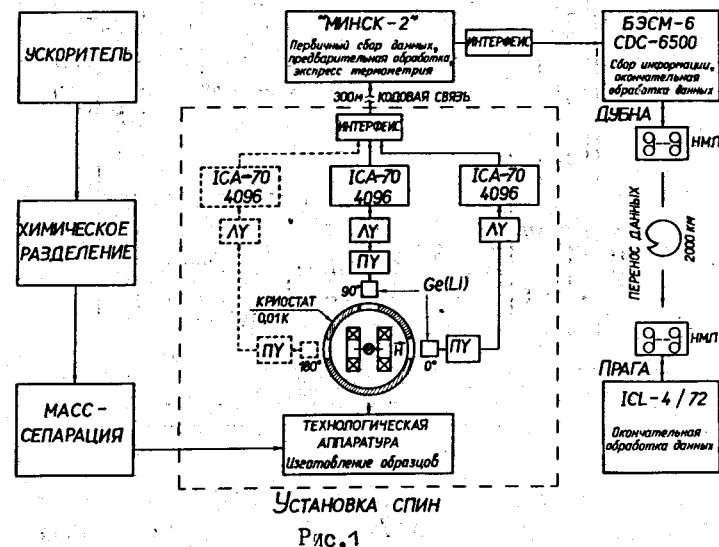


Рис. 1

Структурная схема установки "СПИН" и ее внешние связи. Аппаратура для регистрации углового распределения направления и углового распределения поляризации гамма-излучения при распаде ориентированных радиоактивных ядер: ПУ - зарядочувствительные преусилители; ЛУ - спектрометрические усилители; ICA-70 - многоканальные анализаторы; ИМЛ - накопители на магнитной ленте.

1. Рассмотрены вопросы, связанные с использованием сверхтонкого магнитного дипольного и электрического квадрупольного взаимодействия в ферромагнитных матрицах при низких температурах для ядерного ориентирования. Обсуждается точность определения экспериментальных результатов при разных постановках эксперимента,

сформулированы задачи технологии изготовления образцов для опытов по ядерному ориентированию – ЯО и ЯМР/ОЯ в зависимости от постановки задачи и выбранного объекта исследований.

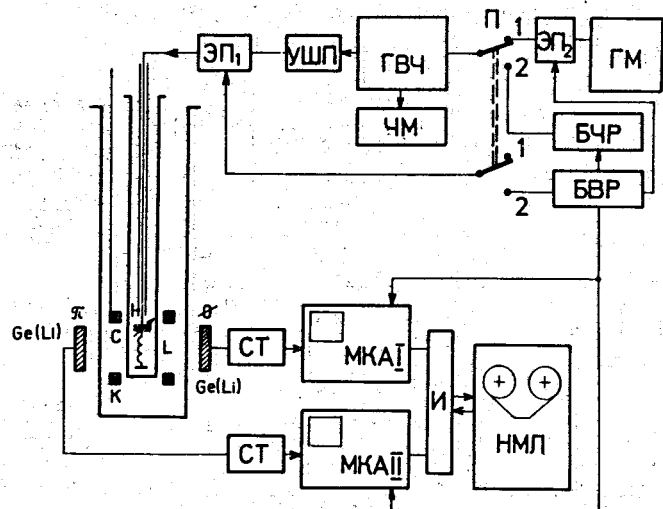


Рис.2

Структурная схема установки "СПИН".

Аппаратура регистрации ЯМР/ОЯ; БВР – источник временных импульсов; БЧР – блок частотного сдвига; ГМ – генератор модуляции; ЭП<sub>1</sub>, ЭП<sub>2</sub> – электрические ключи; П – переключатель; ГВЧ – высокочастотный генератор; ЧМ – цифровой частотомер; УШП – широкополосный усилитель; С, L – емкость и дроссель резонансного контура; К – сверхпроводящий соленоид; Ge(Li) – детектор ядерного излучения; СТ – спектрометрическая электроника; МКА I, МКА II – многоканальные анализаторы; И – интерфейс; НМЛ – накопитель на магнитной ленте.

2. Обсуждаются развитые методики изготовления образцов для ядерного ориентирования на установке "СПИН". Высокая эффективность применяемого здесь метода, основанного на использовании реакции глубокого расщепления тяжелых элементов протонами высо-

ких энергий, быстрой радиохимии и масс-сепарации, позволяет получать для ядерноспектроскопических исследований высокоактивные моноизотопные источники многих элементов в широком диапазоне атомных масс и периодов полураспада.

Ориентация исследуемых радиоактивных ядер, внедренных в кристаллическую решетку ферромагнитной матрицы, осуществляется внутренними магнитными полями, действующими на ядра примеси в ферромагнитном веществе. Оработана методика изготовления образцов на базе матриц Fe, Ni и Gd, рассмотрены преимущества и недостатки отдельных методических подходов к решению этой задачи (диффузия, имплантация на масс-сепараторе и плавление или их комбинации). Перспективным для ядерной ориентации изотопов большинства редкоземельных элементов, в том числе и изотопов тербия, оказалось использование в качестве ферромагнитной матрицы металлического гадолиния. Разработанная технология приготовления образцов Tb(Gd) позволяет с помощью масс-сепаратора и термической обработки в течение 1–2 ч приготовить радиоактивные образцы для исследований на установке "СПИН".

3. Криогенная часть установки "СПИН", созданная на базе рефрижератора  $^3\text{He}-^4\text{He}$ , обеспечивает охлаждение образцов до минимальной температуры 12 мК в непрерывном режиме работы в течение 3 ч и позволяет заменять их на любой стадии работы. Промежуточные непрерывные температурные режимы вплоть до 800 мК получаются с помощью электрического подогрева ванны растворения рефрижератора. В однократном режиме работы рефрижератора достигаются температуры ниже 10 мК. Типичный график работы рефрижератора показан на рис.3. Для создания внешнего поляризующего магнитного поля до 20 кГс, насыщающего доменную структуру ферромагнитной матрицы и задающего направление ориентации, используется магнитная система, состоящая из пары сверхпроводящих катушек Гельмгольца.

4. Для измерения углового распределения гамма-излучения ориентированных ядер на установке "СПИН" создан измерительный модуль, включающий полупроводниковые детекторы, спектрометрическую электронику и многоканальные анализаторы, работающие на линии с ЭВМ. Система регистрации позволяет вести одновременные измерения под углами  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $180^\circ$  по отношению к направлению внешнего магнит-

\* Б.С.Неганов и др. ИТФ, 50 (1966), 1445;

V.N.Pavlov et al. Cryogenics, v. 18(1978), 115.

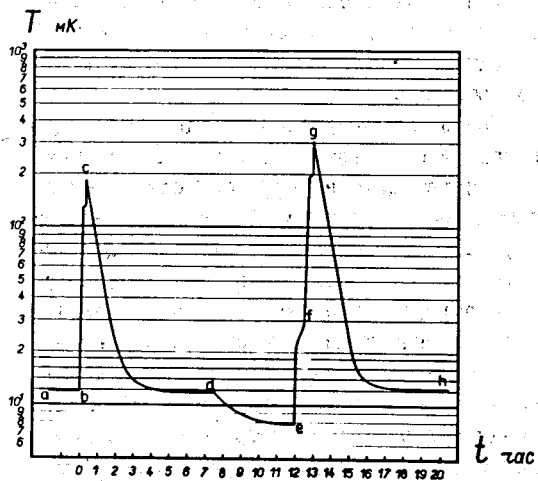


Рис.3

Диаграмма работы рефрижератора раствора  $^3\text{He}$  в  $^4\text{He}$  установки "СПИН":

ab - установившийся режим непрерывного охлаждения при скорости циркуляции  $^3\text{He}$ ,  $z = 3,4 \cdot 10^{-4}$  моль/с; bc - первая замена образца; c, d - охлаждение нового образца; de - режим однократной откачки  $^3\text{He}$ ,  $z = 1,2 \cdot 10^{-4}$  моль/с; ef - конденсация  $^3\text{He}$ , откачанного на участке de; fg - вторая смена образца; gh - охлаждение,  $z = 3,4 \cdot 10^{-4}$  моль/с.

ного поля. Минимальное расстояние от детектора до источника составляет 70 мм, общая толщина окошек из нержавеющей стали между источником и детектором - 0,6 мм. Для обработки экспериментальных данных и физического анализа результатов создана система программ для ЭВМ БЭСМ-6: CDC - 6500 и ICL - 4/72. Использование Ge(Li)-детекторов высокого разрешения и необходимость измерения лишь одномерных спектров позволяют проводить измерения на установке "СПИН" с источниками относительно малой активности (0,1-10  $\mu\text{Ci}$ ), что открывает возможность для исследований ядер, получаемых в малых количествах.

5. Для измерений линейной поляризации гамма-излучения ориентированных ядер на установке "СПИН" создан комптоновский поляриметр на базе плоского Ge(Li)-детектора<sup>3/</sup>, имеющего форму пластины с размерами 5x30x30 мм. Техническое оформление кристалла детектора обеспечивает возможность измерений в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Разрешение детектора 2,5 кэВ на линии с энергией  $E_\gamma = 662$  кэВ  $^{137}\text{Cs}$ .

6. Созданная на установке "СПИН" экспериментальная техника ЯМР/ОЯ<sup>2/</sup> основана на использовании трех основных способов измерений: непрерывного метода с модуляцией, техники однократного (адиабатического) прохождения через резонанс и импульсных методов. В связи с тем, что величины сверхтонких расщеплений для разных элементов в магнитоупорядоченных системах могут находиться в широком диапазоне значений, для исследований этим методом большого количества ядер разных элементов необходимо возбуждающее резонансное высокочастотное поле в большом диапазоне частот. На установке "СПИН" имеются в настоящее время условия для экспериментов по ЯМР/ОЯ в диапазоне частот 10+500 МГц. На рис.4 и 5 приведены результаты проверочных опытов системы ЯМР/ОЯ установки "СПИН".

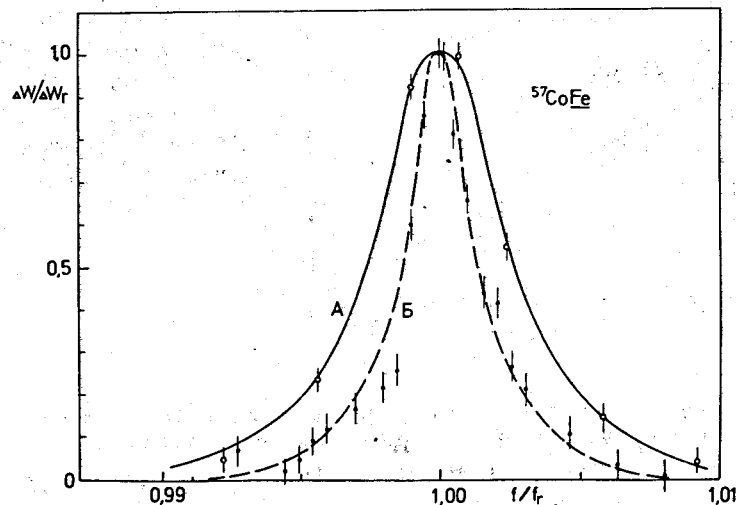


Рис.4

Резонансные кривые  $^{57}\text{Co}$  в поликристаллической железной фольге толщиной 1 микрон (кривая А) и в монокристалле железа (кривая Б) (относительные единицы). Полуширина кривой в случае поликристалла - 1,6 МГц, в случае монокристалла - 0,65 МГц.

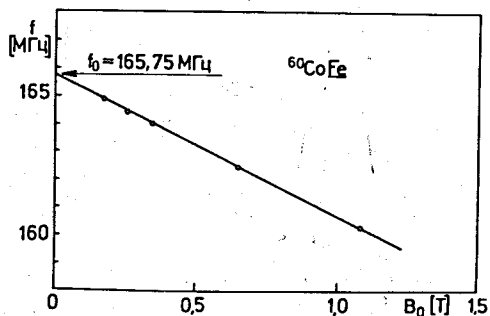
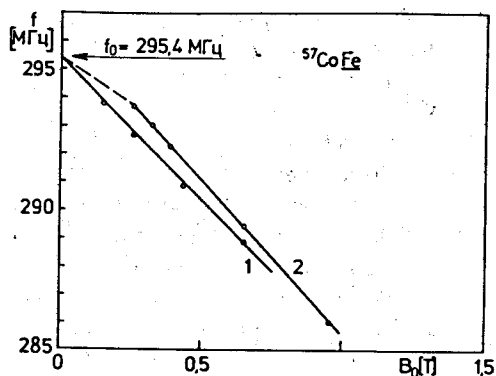


Рис.5  
Зависимость резонансной частоты  $^{57}\text{Co}(\text{Fe})$  от напряженности внешнего магнитного поля  $B_0$  [Т] (кривая 1 — для поликристаллической железной фольги толщиной ~1 микрон, кривая 2 — для монокристаллического образца  $^{57}\text{Co}(\text{Fe})$ ) и зависимость резонансной частоты  $^{60}\text{Co}(\text{Fe})$  в поликристаллической железной фольге толщиной ~1 микрон от напряженности внешнего магнитного поля  $B_0$  [Т]

7. В экспериментах с ориентированными радиоактивными ядрами важной задачей в некоторых случаях является достаточно точное определение температуры образцов, охлаждаемых до сверхнизких температур. На установке "СПИН" эта задача решена на основе использования ядерных ориентационных термометров<sup>4,5</sup>. Разработана технология изготовления ядерных ориентационных термометров на базе радиоактивных изотопов  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{57}\text{Co}$  и  $^{60}\text{Co}$  в матрицах из железа и никеля, а также  $^{60}\text{Co}(\text{глю}^*\text{Co})$ , рассмотрены их термометрические свойства. Эти термометры могут быть использованы для измерений абсолютной температуры в диапазоне 5–30 мК. Показано, что в интервале температур 5–20 мК относительная ошибка в определении температуры таким методом может быть меньше 2%. Такие термометры могут быть рекомендованы

\* Гексалокально-плотно упакованная решетка

в качестве эталонов при определении абсолютной термодинамической температуры на установке "СПИН" в районе 10–20 мК.

8. Рассмотрены вопросы обработки экспериментальных данных, полученных при изучении угловых распределений гамма-излучения ориентированных радиоактивных ядер, определении параметров смешивания мультипольностей гамма-переходов и параметров сверхтонкого магнитного дипольного и электрического квадрупольного взаимодействия. Анализируются различные конкретные варианты решения этой задачи, указываются недостатки и преимущества каждого из них.

9. В конце главы кратко обсуждаются доступные ядра, пригодные для исследований на установке "СПИН".

Третья глава посвящена систематическим исследованиям распада ориентированных радиоактивных ядер изотопов тербия с четным массовым числом  $A = 160, 156, 164, 152$  и  $^{150}\text{Tb}^{9/2}$ .

1. Путем измерения температурной зависимости асимметрии углового распределения гамма-излучения ориентированных ядер  $^{160}\text{Tb}^{7/1}$  и  $^{156}\text{Tb}^{9/2}$  (рис.6 и 7) исследовано сверхтонкое взаимодействие этих изотопов тербия в матрице гадолиния. Полученные значения параметров сверхтонкого магнитного дипольного и электрического квадрупольного взаимодействия приведены в таблице 1. Из опытов по ядерному ориентированию  $^{160}\text{Tb}(\text{Ga})$  величина сверхтонкого магнитного поля на ядрах тербия в матрице гадолиния получена равной  $H_{\text{гг}} = 3,10(22)$  МГс<sup>7/1</sup>, что согласуется с опубликованными данными\*. Определено значение магнитного дипольного и электрического квадрупольного моментов основного состояния ядра  $^{156}\text{Tb}$  (табл.1).

2. Методом ядерного ориентирования проведены систематические исследования распада ориентированных радиоактивных ядер изотопов тербия с четным массовым числом  $A = 150-156$  и 160. Получены данные о характере ядерного излучения этих ядер, установлены квантовые характеристики ряда энергетических уровней в дочерних ядрах гадолиния с  $A = 150 + 156$  и ядре диспрозия с  $A = 160$ .

\* А. Kobayashi et al. J.Phys. Japan, 23(1967)474; А.Л.Ерзинкян и др. ЖЭТФ, 72 (1977), 1302.

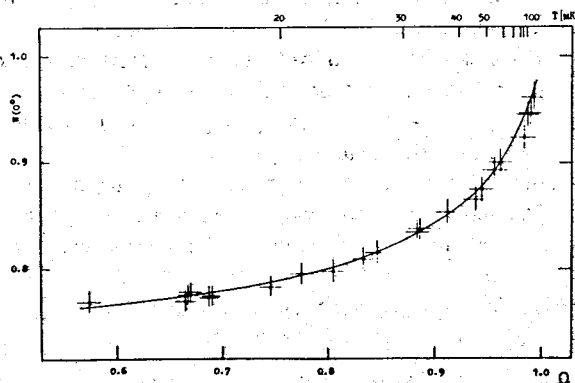


Рис.6

Зависимость значений асимметрии  $w(0^\circ, T(\Omega))$  для гамма-перехода 298,6 кэВ  $^{160}\text{Tb}$  ( $Gd$ ) от значений асимметрии  $\Omega$  гамма-перехода ядерного ориентационного термометра  $^{54}\text{Ni}$  ( $Ni$ ): точки - экспериментальные значения; сплошная линия - расчетная кривая.

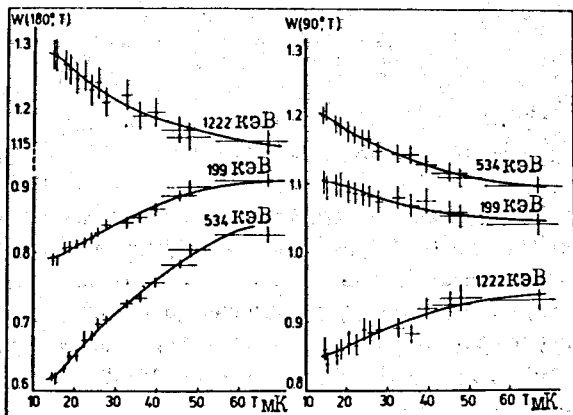


Рис.7

Температурные зависимости асимметрии  $w(\theta, T)$  для гамма-переходов 199, 134 и 1222 кэВ в  $^{156}\text{Gd}$  при распаде  $^{156}\text{Tb}$ .

Таблица I. Параметры сверхтонкого взаимодействия для изотопов тербия в матрице гадолиния

Изотоп a)	J	$ a_0  \times 10^{-5}$ [эВ] <sup>b)</sup>	$ P  \times 10^{-6}$ [эВ] <sup>b)</sup>	$\mu$ [я.м.]	Q [барн]
$^{160}\text{Tb}$	3	0,55(4) <sup>c)</sup>	0,49(9)	1,685(8) <sup>d)</sup>	3,0(5) <sup>e)</sup>
$^{156}\text{Tb}$	3	0,61(10)	0,64(24)	1,9(3)	2,9(10)
$^{155}\text{Tb}$	3/2	0,9 - 1,5	0 - 1,5	1,5 - 2,3	
$^{153}\text{Tb}$	5/2	>1,2	если >0	>3,1	

- a) Примесь радиоактивного изотопа в матрице составляла меньше  $10^{-5}$  ат. %.
- b)  $a_0 = \mu H_{\text{эф}}/J$ ;  $P = 3eQV_{\text{эл}}/4J(2J-1)$ .
- c) В скобках - значения погрешностей в последних цифрах.
- d) V.Bleaney. Magnetic Properties of Rare Earth Metals (Ed. R.J. Elliot). Plenum Press, N.Y., 1972, p. 383.
- e) W.C. Easly et al. Phys. Rev., 170 (1968), 1083.

$^{160}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 72,3$ )/6,7/. Полученные экспериментальные данные позволили определить параметры смешивания мультипольностей для 17 гамма-переходов в ядре  $^{160}\text{Dy}$  (табл.2 и 3).

$^{156}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 5,35$ )/8,9/. Полученные данные о параметрах смешивания мультипольностей для 21 гамма-перехода при распаде  $^{156}\text{Tb}$  и квантовые характеристики соответствующих уровней в  $^{156}\text{Gd}$  приведены в таблице 4.

$^{154}\text{Tb}/10/$ . Наличие трех изомерных состояний  $^{154}\text{Tb}$  с периодами полураспада 9,0 ч, 21,4 ч и 22,6 ч в заметной мере осложняет экспериментальное изучение этого распада. Тем не менее использование метода ядерного ориентирования дало полезную физическую информацию о распаде этих изомеров.

$^{154}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 9,0$  ч)/10/. Наблюдена угловая асимметрия 23 гамма-переходов, сопровождающих распад этого изомера. Определены параметры смешивания мультипольностей  $\delta(M2/E1)$  для переходов 415,8 кэВ:  $\delta = -0,061(-13, +12)$  и 922,1 кэВ:  $\delta = -0,23(17)$ . Экспериментальные значения асимметрии гамма-излучения с энергиями 1149,1; 1229,2 и 2153,8 кэВ, а также 1208,1; 1965,0 и 2212 кэВ позволили однозначно определить оба спина соответствующих уровней с энергиями 2276,9 и 2336,1 кэВ как  $J = 3$ . Асимметрия



перехода 1152,1 кэВ согласуется только со значением квантовых характеристик  $J^\pi = 4^+$  для уровня 2416,3 кэВ.

Таблица 2. Параметры смешивания  $\delta(M2/E1)$  для гамма-переходов  $^{160}\text{Dy}$  с уровней отрицательной четности

$E_{ур}$ [кэВ]	$U_2$	$E_{\gamma}$ [кэВ]	$J_1^\pi - J_2^\pi$	$\delta(M2/E1)$				
				настоящая работа	Фокс и др. /а/	Крейн и др. /б/	Гунтер и др. /с/	Якович и др. /д/
1535	0,905	1251	$4^- - 4^+$	$0,02^{+0,19}_{-0,12}$	-	-	-	-
1399	0,750	1115	$3^- - 4^+$	$0,011(14)$	$0,000(12)$	-	-	-
		1312	$3^- - 2^+$	$-0,045(11)$	$-0,017(8)$	-	-	-
1386	0,905	337	$4^- - 3^+$	$0,034(27)$	$0,039(32)$	-	-	-
		1103	$4^- - 4^+$	$-0,013(46)$	$-0,156(25)$	-	-	-
1358	0,828	310	$2^- - 3^+$	$-0,06(3)$	$-0,020(14)$	-	-	-
		392	$2^- - 2^+$	$-0,018(17)$	$-0,043(15)$	$-0,02(8)$	$0,023(7)$	-
1287	0,750	1272	$2^- - 2^+$	$0,026(9)$	$-0,003(12)$	$-0,03(3)$	-	$0,063^{+0,086}_{-0,070}$
		1003	$3^- - 4^+$	$0,094(21)$	$-0,004(17)$	-	-	-
1265	0,828	1200	$3^- - 2^+$	$-0,050(11)$	$-0,017(8)$	-	-	-
		216	$2^- - 3^+$	$0,016(8)$	$-0,003(6)$	$-0,18(10)$	-	$-0,199(49)$
1265	0,828	299	$2^- - 2^+$	$0,023(18)$	-	$0,005(10)$	$0,029(5)$	$-0,02(2)$
		1178	$2^- - 2^+$	$-0,015(8)$	$-0,031(12)$	$0,02(2)$	-	$0,040(43)$

\* ) В скобках - значения погрешностей в последних цифрах.

- а) R.A.Fox et al. J.Phys.A: Mat., Nucl., Gen., Vol.7, No14 (1974), 1716.  
 б) K.S.Krane, R.M.Steffen. Nucl.Phys., A164 (1971), 439.  
 в) C.Günther et al. Z.Phys., 183 (1965), 472.  
 д) J.M.Jaklevic et al. Nucl.Phys., A99 (1967), 83.

Таблица 3. Параметры смешивания  $\delta(E2/M1)$  для гамма-переходов  $^{160}\text{Dy}$  с уровней положительной четности

$E_{ур}$ [кэВ]	$E_{\gamma}$ [кэВ]	$U_2$	$U_4$	$J_1^\pi - J_2^\pi$	$\delta(E2/M1)$				
					настоящая работа	Фокс и др. /а/	Крейн и др. /б/	Гунтер и др. /с/	Якович и др. /д/
1156	872	$0,86(12)^*$	$0,58(10)$	$4^+ - 4^+$	$-0,70(30)$	-	-	-	-
1049	765	$0,72(2)$	$0,18(2)$	$3^+ - 4^+$	$-9,0^{+2,4}_{-5,0}$	$-7,7(7)$	$-7^{+20}$	-	-
				$3^+ - 2^+$	$6,5(45)$	-	$18(5)$	-	$7,0^{+6,1}_{-2,4}$
966	879	$0,63(2)$	$0,08(1)$	$2^+ - 2^+$	$-12,8(15)$	$-18^{+4}_{-8}$	$-17,7^{+2,8}_{-1,5}$	$-17,7^{+2,8}_{-5,2}$	$-11^{+1,3}_{-3}$

\* ) В скобках - значения погрешностей в последних цифрах.

- а) R.A.Fox et al. J.Phys. A: Mat., Nucl., Gen., Vol.7, No14 (1974), 1716.  
 б) K.S.Krane, R.M.Steffen. Nucl.Phys., A164 (1971), 439.  
 в) C.Günther et al. Z.Phys., 183 (1965), 472.  
 д) J.M.Jaklevic et al. Nucl.Phys., A99 (1967), 83.

Таблица 4. Мультипольности гамма-переходов в  $^{156}\text{Gd}$

$E_{ур}$ (кэВ) (а)	$U_2$	$U_4$	$E_{\gamma}$ (кэВ) (а)	$J_1^\pi - J_2^\pi$	Параметр смешивания		
					Образец № 1 /в/	Образец № 2 /г/	Другие авторы
					M2/E1	M2/E1	M2/E1
2103,2	0,750	0,167	2014,2	$3^- - 2^+$	$-0,013(7)$	$-0,24(54)$	-
			1815,0	$3^- - 4^+$	-	$0,002(104)$	-
			949,1	$3^- - 2^+$	$-0,025(12)$	$-0,027(31)$	-
2044,8	0,905	0,681	543,3	$4^- - 4^+$	$0,06(2)$	$0,06(2)$	$0,01^{+0,13}_{-0,15}(c)$
			422,3	$4^- - 5^+$	$-0,009(4)$	$0,024(10)$	-
1934,2	0,750	0,167	1845,4	$3^- - 2^+$	$-0,030(5)$	$-0,008(25)$	$-0,024^{+0,134}_{-0,126}(c)$
			1646,1	$3^- - 4^+$	$0,012(4)$	$-0,015(35)$	$-0,002^{+0,053}_{-0,078}(c)$
			780,1	$3^- - 2^+$	$-0,024(8)$	$0,048(21)$	-
					E2/M1	E2/M1	E2/M1
1622,4	0,850(4)	0,543(5)	1334,5	$5^+ - 4^+$	$-3,8(2)$	$3,40^{+0,45}_{-0,57}$	-
			1037,9	$5^+ - 6^+$	$-6,7^{+3,0}_{-21,0}$	-	-
1510,5	0,776(7)	0,363(18)	115,6	$5^+ - 5^+$	-	-	$10,047(d)$
			111,9	$5^+ - 4^+$	$0,15^{+0,10}_{-0,09}$	-	$10,089(d)$
1510,5	0,776(7)	0,363(18)	1421,6	$4^+ - 2^+$	$0,014(12)^{(e)}$	$0,002(26)^{(e)}$	-
			1222,4	$4^+ - 4^+$	$-2,07(13)$	$-1,7^{+0,16}_{-0,21}$	$-2,12^{+0,37}_{-0,41}(c)$
1355,3	0,643(18)	0,153(53)	925,7	$4^+ - 6^+$	$0,066(6)^{(e)}$	$0,005(85)^{(e)}$	-
			356,4	$4^+ - 2^+$	$0,014(12)^{(e)}$	$-0,029(23)^{(e)}$	-
1247,9	0,535(17)	0,018(7)	262,5	$4^+ - 3^+$	$9,2^{+0,7}_{-0,6}$	$7,65^{+0,59}_{-0,51}$	-
			155,2	$4^+ - 4^+$	-	-	$10,23(d)$
1247,9	0,535(17)	0,018(7)	1067,2	$4^+ - 2^+$	-	$-0,12^{+0,22}_{-0,28}(e)$	-
			1067,2	$4^+ - 4^+$	$-4,0^{+0,9}_{-1,6}$	-	-
1154,1	0,638(6)	0,161(7)	1150,0	$3^+ - 2^+$	$-11,8^{+0,6}_{-0,7}$	$-8,6^{+2,3}_{-4,8}$	$-8,5^{+4,1}_{-51,6}(c)$
			959,7	$3^+ - 4^+$	$-11,7^{+2,7}_{-5,3}$	$-19,3(100)$	$0,26 < \delta < 7,44(c)$
1154,1	0,638(6)	0,161(7)	1365,1	$2^+ - 2^+$	$-6,5^{+2,6}_{-7,9}$	-	-

а) Энергии гамма - лучей взяты из работы: M.Fujioka, Nucl.Phys., A153 (1970), 337.

б) В скобках - значения погрешностей в последних цифрах.

в) P.F.Kenealy et al. Nucl.Phys., A105 (1967), 522.

д) M.Fujioka. Nucl.Phys., A153 (1970), 337.

е) Параметр смешивания M3/E2.

$^{154}\text{Tb}(T_{1/2}=21,4 \text{ ч})/^{10}\text{F}$ . Так как несколько более интенсивных гамма-переходов, сопровождающих распад этого изомера, имеют изотропное распределение, то эти данные по ядерному ориентированию подтверждают значение спина основного состояния этого изомера как  $J = 0$ .

$^{154}\text{Tb}(T_{1/2}=22,6 \text{ ч})/^{10}\text{F}$ . Асимметрия гамма-излучения, возникающего при распаде этого изомера, показывает, что ориентация

возбужденных состояний  $^{154}\text{Gd}$ , заселяемых через изомерное состояние с энергией 2137,8 кэВ ( $J^{\pi} \geq 7$ ,  $T_{1/2} = 68$  нс), заметно меньше, чем ориентация других состояний в  $^{154}\text{Gd}$ . Это указывает на влияние эффекта переориентации в промежуточном изомерном состоянии  $^{154}\text{Gd}$  с энергией 2137,8 кэВ.

$^{152}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 17,5$  ч) /11,12/. Значения асимметрии гамма-лучей получены для 78 гамма-переходов. Данные о параметрах смешивания мультипольностей 33 гамма-переходов при распаде  $^{152}\text{Tb}$  и квантовые характеристики соответствующих состояний в ядре  $^{152}\text{Gd}$  приведены в табл.5.

$^{150}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 3,67$  ч) /14/. Значения асимметрии гамма-лучей получены для 46 гамма-переходов. Результаты анализа схемы распада  $^{150}\text{Tb}$  приведены в табл.6. Получены значения параметров смешивания 23 гамма-переходов в ядре  $^{150}\text{Gd}$ , определены квантовые характеристики ряда энергетических уровней этого ядра.

3. В конце главы систематизированы свойства низколежащих уровней четно-четных ядер гадолиния с массовым числом  $A=144+160$  /7-15/. Исследование этих ядер дает исключительно хорошие возможности для того, чтобы проследить за деталями изменения отдельных свойств структуры ядра в зависимости от числа нейтронов в переходной области ядер с  $A \sim 150$ . Ядра гадолиния с  $A = 144-150$  показывают вибронный характер возбуждения, а ядра с  $A = 156-160$  имеют структуру возбужденных состояний, типичную для сильно деформированных ядер. Для выявления влияния перехода от сферических к деформированным ядрам систематизированы имеющиеся данные:

а) об энергиях и взаимном расположении низколежащих возбужденных уровней с положительной четностью и разными значениями спинов;

б) об энергиях и взаимном расположении низколежащих возбужденных уровней с отрицательной четностью и разными значениями спинов;

в) о величинах  $B(E2, 0^+_g \rightarrow 2^+_g)$ ;

г) о величинах отношений приведенных вероятностей гамма-переходов между соответствующими уровнями ядер;

д) о величинах и знаках параметров смешивания мультипольностей соответствующих гамма-переходов.

Все низколежащие возбужденные уровни этих ядер хорошо укладываются в систематику, базирующуюся на представлениях о существовании квазивращательных и квазивибронных полос в этих ядрах.

Таблица 5. Параметры смешивания мультипольностей переходов в  $^{152}\text{Gd}$

E <sub>ур.</sub> <sup>а)</sup> (кэВ)	E <sub>г</sub> <sup>а)</sup> (кэВ)	J <sub>1</sub> <sup>π</sup>	J <sub>г</sub> <sup>π</sup>	Работа /10/		Работа /11/			
				U <sub>2</sub>	U <sub>4</sub>	Параметры смешивания <sup>б)</sup>		Параметры смешивания <sup>б)</sup>	
						Образец E2	E2 / E1	Образец E1	δδ(φ)
1	2	3.	4	5	6	7	8		
2850,6	1771,4	1 <sup>-</sup> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,592	0,	1,11(61) <sup>с)</sup>				
	1754,4	1 <sup>-</sup> 3 <sup>-</sup> <sub>oct</sub>			0,50 + 0,46 <sup>д)</sup> - 0,29				
2729	1086,3	2 <sup>+</sup> 2 <sup>-</sup> <sub>oct</sub>	0,500	0,	-0,18(14)				
2709,4	1586,2	2 <sup>+</sup> 3 <sup>-</sup> <sub>oct</sub>	0,500	0,	-0,34(21)				
2523,7	1209,1	2 <sup>+</sup> 1 <sup>-</sup> <sub>oct</sub>	0,500	0,	-0,20(14) <sup>е)</sup>				
2299,6	1955,3	3 <sup>-</sup> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,828	0,418	0,30 + 0,09 - 0,08				
	1190,5	3 <sup>-</sup> 2 <sup>+</sup> <sub>г</sub>			0,28 + 0,17 - 0,14				
1643,4	1299,1	2 <sup>-</sup> <sub>oct</sub> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,476(19)	-0,644(26)	-0,10(8)				
1314,7	970,4	1 <sup>-</sup> <sub>oct</sub> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,343(22)	-0,169(10)	0,18 + 0,17 - 0,21				
1123,1	778,9	3 <sup>-</sup> <sub>oct</sub> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>					15(21) ± 0,21 18(31) ± 0,20		
					E2 / M1	E2 / M1	E2 / M1		
2729	2384,7	2 <sup>+</sup> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,500	0,	0,31 + 0,52 - 0,18				
2719,8	2375,3	2 <sup>+</sup> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,500	0,	0,10 + 0,27 - 0,18				
	1789,1	2 <sup>+</sup> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>			-0,13(10)				
2709,4	2365,3	2 <sup>+</sup> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,500	0,	0,31 + 0,38 - 0,18				
2246,7	1902,4	1 <sup>+</sup> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,537(30)	0,	0,36 + 0,23 - 0,18				
	1137,6	1 <sup>+</sup> 2 <sup>+</sup> <sub>г</sub>			-0,69 + 0,46 - 0,08				
2201,6	1857,3	3 <sup>+</sup> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,828	0,418	-0,12(7) или -2,6 + 0,9 - 1,6				
2011,7	1667,4	2 <sup>+</sup> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,828	0,418	0,29 + 0,09 - 0,08				
1941,2	622,8	2 <sup>+</sup> <sub>g</sub> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,497(25)	-0,667	1,04(50)	0,2 ± 1,5	0,33 ≤ δ ≤ 2,93		
	1010,7	2 <sup>+</sup> <sub>g</sub> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>			1,88 + 1,93 - 1,06				
	1189,6	2 <sup>+</sup> <sub>g</sub> 4 <sup>+</sup> <sub>g</sub>			-0,31(29) <sup>д)</sup>				
1862,0	1517,8	2 <sup>+</sup> <sub>g</sub> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>	0,495(20)	-0,667	4,69 + 2,66 - 1,28 или -0,21(8)				
	543,7	2 <sup>+</sup> <sub>g</sub> 2 <sup>+</sup> <sub>g</sub>			-3,27 + 7,76 - 0,08				

Таблица 5. (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
1692,4	1346,1	$4^+_{2p} 2^+_g$	0,774(23)	0,277(6)	-0,30(25) <sup>d)</sup>		
	937,0	$4^+_{2p} 4^+_g$			-11(2)		
1609,6	1261,4	$2^+_{p1} 2^+_g$	0,486(20)	-0,642(26)	$2,59 \pm \begin{matrix} 2,10 \\ 0,95 \end{matrix}$		
	675,1	$2^+_{p1} 2^+_g$			1,84(66)		
1550,1	794,7	$4^+_{2p} 4^+_g$	0,764(22)	0,198(10)	$-0,4 \pm \begin{matrix} 0,7 \\ 1,2 \end{matrix}$		
1434,2	1089,9	$3^+_{2p} 2^+_g$	0,626(31)	0,216(11)	$-44 \leq \delta \leq -7,1$		
	676,6	$3^+_{2p} 4^+_g$			-19(16)		
1318,4	974,1	$2^+_{2p} 2^+_g$	0,364(22)	-0,587(35)	1,47(60)	$0,4 \pm 1,0$	0,58(7)
1109,2	764,9	$2^+_{2p} 2^+_g$	0,413(27)	-0,349(23)	$3,47 \pm \begin{matrix} 1,70 \\ 0,91 \end{matrix}$	$3,4 \pm \begin{matrix} 2,6 \\ 1,0 \end{matrix}$	$4,3 \pm \begin{matrix} 0,7 \\ 0,6 \end{matrix}$
930,6	586,3	$2^+_{2p} 2^+_g$	0,434(26)	-0,561(34)	-4,9(1,2)	$-0,5 \pm -\infty$	$0,355 \leq q \leq 1,195^e)$ -3,09(14)
755,4	411,1	$4^+_g 2^+_g$	0,316(25)	0,064(9)	0,035(195) <sup>d)</sup>		

а) Энергии уровней и гамма-переходов взяты из работы:

D.R.Zolnovski et al. Nucl.Phys., A177 (1971),513.

б) В скобках - значения погрешностей в последних цифрах.

в) Параметр смешивания E3/M2.

г) Параметр смешивания M3/E2.

е) Предпочтительно значение  $J_i = 1$ .

з) Получено на основе электрон - гамма корреляций /11/.

Наблюдается плавное изменение энергий низколежащих коллективных состояний с изменением числа нейтронов. Энергии возбужденных уровней вращательной полосы основного состояния увеличиваются с уменьшением числа нейтронов. Энергии бета-вибрационной полосы достигают минимума для  $^{154}\text{Gd}$  и  $^{152}\text{Gd}$ , а в ядрах  $^{150}\text{Gd}$  и  $^{148}\text{Gd}$  круто возрастают. Уровни гамма-вибрационных полос с уменьшением числа нейтронов сначала незначительно опускаются, достигая минимума в ядре  $^{154}\text{Gd}$ , после чего круто поднимаются. В октупольной вибрационной полосе наблюдается изменение порядка уровней: от порядка  $1^-, 3^-, 5^-$  в  $^{154-150}\text{Gd}$ , обычного для деформированных ядер, к порядку  $3^-, 1^-, 5^-$  для ядер гадолиния с  $A \leq 152$ . При этом относительное расстояние уровней в этой полосе для  $^{154-160}\text{Gd}$  почти не зависит от числа нейтронов, тогда как для ядер  $A \leq 152$  оно сильно меняется.

Таблица 6. Квантовые характеристики уровней  $^{150}\text{Gd}$ .  
Мультипольности гамма-переходов при распаде  $^{150}\text{Tb}$

№ пп	$E_{ур}$ (кэВ)	$J_i^{\pi}$	$E_{\gamma}$ (кэВ)	$J_f^{\pi}$	$A_2^{\theta}$	Мульти- польность перехода	Параметр смешивания (L+1)/L
1	2	3	4	5	6	7	8
2	636,0	$2^+$	636,0	$0^+$	0,52(5)	E2	
3	1134,3	$3^-$	495,3	$2^+$	0,26(3)	E1 + M2	0,05(2)
4	1207,2	$0^+$	569,1	$2^+$	-	E2	
5	1286,4	$4^+$	650,4	$2^+$	-0,35(4)	E2	
6	1430,5	$2^+$	792,5	$2^+$	-0,48(16)	M1 + E2	2,0(7)
			1430,5	$0^+$	-	E2	
7	1518,5	$2^+$	880,3	$2^+$	-0,06(7)	M1 + E2	$-7(+3, -1)^b)$
			1518,5 <sup>d)</sup>	$0^+$	-	E2	
8	1592,7	$1^-$	954,5	$2^+$	0,17(9)	E1	$\leq 0,20$
			1592,7	$0^+$	-	E1	
9	1700,1	$4^+$	411,7	$4^+$	-0,26(11)	M1 + E2	-0,20(13)
			565,7	$3^-$	0,07(10)	E1 + M2	0,12(5)
11	1814,3	$3^-$	1175,0	$2^+$	0,33(11)	E1	
12	1947,5	$2^-, 3^-$	813,1	$3^-$	-	M1 + E2	
13	1955,6	$2^+$	437,1	$2^+$	0,22(22)	M1 + E2	$-0,33 \leq \delta \leq \infty$
			525,0	$2^+$	-0,35(16)	M1 + E2	$0,19(+26^c), 15)$
			748,3	$0^+$	-	E2	
			821,1	$3^-$	0,04(8)	E1 + M2	$\leq 0,07$
14	1996,0	$3^+, 4^+$	557,5	$2^+$	-	-	
			699,4	$4^+$	-	-	
			1350,1	$2^+$	-	-	
16	2084,4	$2^-$	950,0	$3^-$	0,31(7)	M1 + E2	$0,4(+2, -1)$
			1446,2	$2^+$	-0,24(10)	E1	
17	2091,7	$2^+$	573,4	$2^+$	-0,69(18)	M1 + E2	$0,33 \leq \delta \leq 1,1$
			664,6	$0^+$	-0,55(25)	E2	
			957,4	$3^-$	0,05(14)	E1	$\leq 0,03$
			1453,6	$2^+$	-0,11(5)	M1 + E2	-0,24(5)
			2091,7	$0^+$	-	E2	
18	2160,1	$2^+$	1045,7	$3^-$	0,16(11)	E1 + M2	$\leq 0,1$
			1542,0	$2^+$	0,43(23)	M1 + E2	$-0,5 \leq \delta \leq 11$
19	2209,5	$3^-$	1075,3	$3^-$	-0,29(11)	M1 + E2	$\leq 0,25$
22	2365,1	$2^+$	1157,7	$0^+$	0,50(20)	E2	
			2365,1	$0^+$	-	E2	

Таблица 6. (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
23	2406,6	3 <sup>+</sup>	1129,1 1770,6	4 <sup>+</sup> 2 <sup>+</sup>		M1 + E2 M1 + E2	-0,43(+16,-43) 0,31(6)
25	2426,1	2 <sup>+</sup>	1291,7 1788,1	3 <sup>-</sup> 2 <sup>+</sup>	0,26(10) -0,62(8)	E1 + M2 M1 + E2	0,10(6) 0,04 ≤ δ ≤ 1,0
30	2654,5	1 <sup>+</sup> , 2 <sup>+</sup> 3 <sup>+</sup>	2016,5	2 <sup>+</sup>		-	
31	2678,6	2 <sup>+</sup>	2040,6	2 <sup>+</sup>		-	
32	2687,2	2 <sup>+</sup>	1168,7	2 <sup>+</sup>		E1 или M1 + E2	δ(M2:E1) ≤ 0,1 δ(E2:M1) ≤ 1,9
33	2755,1	2 <sup>+</sup> , 3 <sup>+</sup> 4 <sup>+</sup>	2117,0	2 <sup>+</sup>		-	
34	2786,9	2 <sup>+</sup>	2148,7	2 <sup>+</sup>	-0,45(10)	M1 или M1 + E2	≤ 0,1 или 2,1(4)
37	2856,4	2 <sup>+</sup> , 3 <sup>+</sup> 4 <sup>+</sup>	968,4 1525,8 2318,2	3 <sup>+</sup> , 4 <sup>+</sup> 2 <sup>+</sup> 2 <sup>+</sup>		- - -	
39	3035,6	1 <sup>-</sup>	1900,6	3 <sup>-</sup>	-0,25(11)	E2	

- а) В скобках - значения погрешностей в последних цифрах.  
 б) Второе возможное решение, хотя предпочтительно на основе  $\alpha_K$ , не рассматривается.  
 в) Верхняя граница, полученная в предположении, что переход 526 кэВ - чистый E1.  
 д) Переход может быть неразрешенным дублетом.

Значения  $B(E2, 0_g^+ \rightarrow 2_g^+)$  плавно увеличиваются с возрастанием числа нейтронов. Из сравнения отношений приведенных вероятностей переходов, разряжающих уровни четно-четных ядер гадолиния, видно, что имеется значительное ослабление  $B(E2, 2_g^+ \rightarrow 0_g^+)$  и  $B(E2, 2_g^+ \rightarrow 0_g^+)$  при переходе от деформированных ядер  $^{160}_{64}\text{Gd}$  и  $^{156}_{64}\text{Gd}$  к ядрам  $^{154}_{64}\text{Gd}$ ,  $^{152}_{64}\text{Gd}$ ,  $^{150}_{64}\text{Gd}$ . Имеющиеся данные о параметрах  $\alpha_K$ ,  $\chi$  и  $\varphi$  для переходов, разряжающих уровни квазибета-вибрационных полос в четно-четных ядрах гадолиния, согласуются с систематикой таких параметров для переходов с уровней бета-вибрационных полос деформированных ядер.

Представление о существовании квазиращательных и квазивибрационных полос в ядрах этой области позволило провести сравнение полученных нами данных о параметрах смешивания мультипольностей гамма-переходов в  $^{150-156}\text{Gd}$  с имеющимися теоретическими расчетами. Систематика экспериментальных значений параметров

$\delta(E2/M1)$  показывает, что в области перехода от  $N=88$  ( $A=152$ ) к  $N=90$  ( $A=154$ ) для групп переходов  $2_g^+ \rightarrow 2_g^+$ ,  $2_g^+ \rightarrow 2_g^+$  и  $3_g^+ \rightarrow 2_g^+$  наблюдается изменение знака параметра смешивания, в то время как его величина меняется незначительно.

На основе анализа всей совокупности данных делается вывод, что для ядер гадолиния с четным массовым числом переход от сферических к деформированным ядрам появляется при  $N=88$ .

Четвертая глава содержит результаты исследования распада ориентированных радиоактивных ядер изотопов тербия с нечетным массовым числом  $A=155$  и  $^{153}_{64}\text{Tb}$ .

1. Путем измерения температурной зависимости асимметрии углового распределения гамма-излучения ориентированных ядер  $^{155}_{64}\text{Tb}$  и  $^{153}_{64}\text{Tb}$  (рис. 8, 9) исследовано сверхтонкое взаимодействие этих изотопов тербия в матрице гадолиния. Получено значение параметра сверхтонкого магнитного дипольного взаимодействия для  $^{155}\text{Tb}(\text{Gd})$  и нижняя граница этого параметра для  $^{153}\text{Tb}(\text{Gd})$ . Эти данные позволили получить величину магнитного дипольного момента основного состояния  $^{155}\text{Tb}$  и нижнее граничное значение момента для  $^{153}\text{Tb}$  (см. табл. 1).

2. Измерено угловое распределение гамма-излучения ориентированных радиоактивных ядер изотопов тербия с  $A=155$  и  $^{153}_{64}\text{Tb}$ . Результаты проведенного анализа экспериментальных данных приведены в таблицах 7 и 8. Получены данные о характере мультипольности большого количества гамма-переходов, сопровождающих распад  $^{155}\text{Tb}$  и  $^{153}\text{Tb}$ , и однозначно определены квантовые характеристики для большинства низколежащих уровней в ядрах  $^{155}\text{Gd}$  и  $^{153}\text{Gd}$ .

3. Полученные нами данные позволили провести анализ свойств возбужденных уровней  $^{155}\text{Gd}$  и  $^{153}\text{Gd}$ .

А. Поведение всех наблюдаемых уровней с отрицательной четностью в  $^{155}\text{Gd}$  можно объяснить в рамках обобщенной и сверхтекучей моделей ядра. Особенно интересными в схеме возбужденных уровней  $^{155}\text{Gd}$  являются обнаруженные и идентифицированные нами уровни бета-вибрационной природы и связанные с ними вращательные полосы. При распаде  $^{155}\text{Tb}$  в ядре  $^{155}\text{Gd}$  наблюдается возбуждение уровней  $5/2^-$  и  $7/2^-$  вращательной полосы основного состояния  $3/2^-$  [521], уровня  $3/2^-$ , связанного с орбиталью  $[530] \uparrow$ , и первых двух уровней вращательной полосы состояния  $[521] \uparrow$ , смешанного с гамма-вибрационным состоянием  $[521] + \gamma$ .

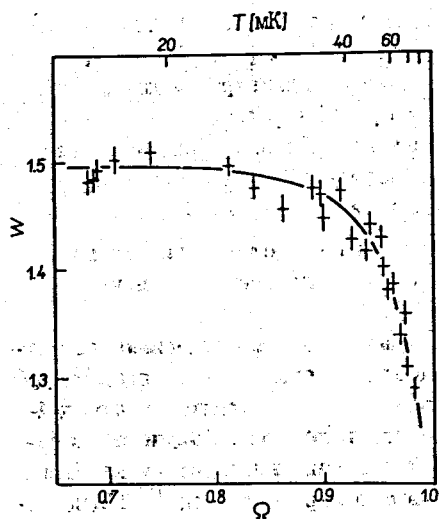


Рис.8  
Зависимость значений асимметрии  $w(0^\circ, T(\Omega))$  для гамма-перехода 161,3 кэВ  $^{155}\text{Tb}(\text{Gd})$  от значений асимметрии  $\Omega$  гамма-перехода ядерного ориентационного термометра  $^{54}\text{Mn}(\text{Ni})$ . Указанные ошибки экспериментальных данных соответствуют среднеквадратичным отклонениям. Полная линия представляет собой теоретическую кривую, проложенную для  $P = 0,9 \cdot 10^{-6}$  эВ. Указана также температурная шкала.

Проведенный анализ свойств возбужденных уровней  $^{155}\text{Gd}$  с положительной четностью показал, что согласие полученных данных с результатами расчетов в рамках схемы Нильссона при учете кориолисова взаимодействия и взаимодействия состояний с  $\Delta N = 2$  хорошее.

Б. В настоящее время можно считать установленным, что свойства низколежащих уровней  $^{153}\text{Gd} / 22 /$  с положительной четностью можно описать в рамках схемы Нильссона, если учесть кориолисово взаимодействие и взаимодействие состояний с  $\Delta N = 2$ . Действительно, полученные нами данные о свойствах уровней с положительной четностью в  $^{153}\text{Gd}$  согласуются с соответствующими расчетами, приведенными в работе\*.

Полученные нами данные о свойствах возбужденных уровней с отрицательной четностью в  $^{153}\text{Gd} / 22 /$  позволили нам провести анализ их свойств в рамках модифицированной схемы Нильссона\*\*. Согласие экспериментальных данных с теоретическими расчетами можно считать удовлетворительным.

Полученные данные выявили также некоторые недостатки схемы распада  $^{153}\text{Tb}$  и показали, что потребуются дальнейшие исследова-

\* G. Løvholden, D.G. Burke, Can. J. Phys., 51(1973)2354.

\*\* J. Rekstad, G. Løvholden, Nucl. Phys., A267(1976)40.

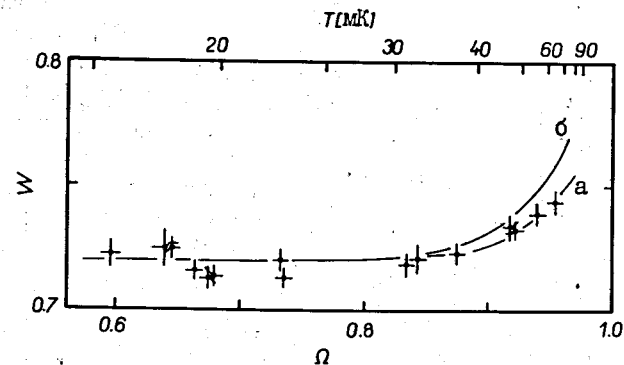


Рис.9  
Зависимость значения асимметрии  $w(0^\circ, T(\Omega))$  для гамма-перехода 212,0 кэВ  $^{153}\text{Tb}(\text{Gd})$  от значений асимметрии  $\Omega$  гамма-перехода 137 кэВ ядерного ориентационного термометра  $^{57}\text{Co}(\text{Fe})$ . Приведена также температурная шкала. Ошибки экспериментальных данных соответствуют среднеквадратичным отклонениям. Сплошные кривые — расчетные значения для нулевого предела параметра  $P$  для  $^{153}\text{Tb}(\text{Gd})$  и полученной в нашем эксперименте оптимальной величины  $k_2 = -0,21$ . Кривая а получена для оптимальной величины параметра  $a_0 = 1,4 \cdot 10^{-5}$  эВ  $^{153}\text{Tb}(\text{Gd})$ , кривая б — для нижнего предела этого параметра,  $a_0 = 1,2 \cdot 10^{-5}$  эВ.

ния для решения физических задач, которые встречаются в этой сложной схеме уровней.

В. На основе анализа всей совокупности /16-23/ данных показано, что для ядер с нечетным массовым числом в переходной области с  $A \sim 150$  переход от сферических к деформированным ядрам появляется почти внезапно между  $N = 87$  и 89.

В заключении перечислены основные результаты работы, которые можно сформулировать более кратко в виде следующих выводов:

Таблица 7. Квантовые характеристики возбужденных состояний  $^{155}\text{Gd}$ .  
 Параметры смешивания  $\delta$  - мультипольностей гамма-переходов в  $^{155}\text{Gd}$

$E_{\text{ур}}^{(i)}$ [кэВ]	$J_{\pi}^{(i)}$	$E_{\text{г}}$ [кэВ]	$E_{\text{ур}}^{(f)}$ [кэВ]	$J_{\pi}^{(f)}$	$\delta$ а)		$\delta$ Угловые корреляции Наши данные /19,20/	$ \delta $ КВК Работа / х /
					Ядерная ориентация			
					Образец № 1/19/	Образец № 2/20/		
86,5	5/2 <sup>+</sup>	86,5	0	3/2 <sup>-</sup>		0,039(34)	0,039(8)	б)
105,3	3/2 <sup>+</sup>	105,3	0	3/2 <sup>-</sup>		-0,05(5)	-0,06(7)	б)
266,6	5/2 <sup>+</sup>	148,7	118,0	7/2 <sup>+</sup>	-0,12(2)	-0,14(1)	-0,23(8)	0,14(4)
		161,3	105,3	3/2 <sup>+</sup>	-0,47(+14,-97)	-0,47(+14,-97) <sup>в)</sup>		
		180,1	86,5	5/2 <sup>+</sup>	-0,215(14)	-0,23(2)		0,18
268,6	3/2 <sup>+</sup>	163,3	105,3	3/2 <sup>+</sup>	0,12(+13,-11)	0,06(5)	0,13(9)	0,1
		268,5	0	3/2 <sup>-</sup>	0,12(+11,-12)	-0,01(10)		б)
286,0	3/2 <sup>-</sup>	181,7	105,3	3/2 <sup>+</sup>		-0,32 ± 0,14		б)
		200,5	86,5	5/2 <sup>+</sup>		-0,11 ± 0,27	-0,16(12)	б)
		287,1	0	3/2 <sup>-</sup>	-0,24±0,21 <sup>г)</sup>	-0,21 ± 0,03		0,5
326,0	5/2 <sup>+</sup>	208,0	118,0	7/2 <sup>+</sup>			-∞ ± ∞	
		220,8	105,3	3/2 <sup>+</sup>	-0,10(+8,-9)		-0,1(3)	
		239,5	86,5	5/2 <sup>+</sup>			0,0(+2,-3)	
								-0,06(8)
427,4	3/2 <sup>+</sup>	262,4	105,3	3/2 <sup>+</sup>			±2	
		281,1	86,5	5/2 <sup>+</sup>				
488,8	5/2 <sup>+</sup>	220,1	268,6	3/2 <sup>+</sup>	4,1(+23,-12)		2,5(+5,-4)	
							-∞ ± ∞	

- а) В скобках - значения погрешностей в последних цифрах.  
 б) КВК указывает на мультипольность типа E1.  
 в) Значение использовано для нормировки результатов работ /19,20/.  
 г) Диапазон возможных значений отвечает предположениям о  $L_{\beta} = 0$  или  $L_{\beta} = 1$  в бета-распаде.  
 д) R.A.Meyer et al. Phys.Rev., C13 (1976),2466.

1. Рассмотрены основные вопросы, связанные с описанием ансамбля ориентированных ядер и теорией углового распределения направлений и поляризации гамма-излучения ориентированных радиоактивных ядер.

2. Создан физический комплекс для исследования распада ориентированных радиоактивных ядер в широком диапазоне Z и A с периодами полураспада до одного часа (установка "СПИН") на основе использования сверхтонкого взаимодействия при сверхнизких температурах (~ 0,01 К). Имеющаяся методика позволяет с помощью масс-сепаратора и термической обработки в течение 1-2 ч готовить радиоактивные образцы для ядерного ориентирования.

Таблица 8. Квантовые характеристики возбужденных состояний  $^{153}\text{Gd}$ .  
 Параметры смешивания мультипольностей  $\delta$  гамма-переходов в  $^{153}\text{Gd}$

$E_{\text{ур}}^{(i)}$ [кэВ]	$J_{\pi}^{(i)}$	$E_{\text{г}}$ [кэВ]	$E_{\text{ур}}^{(f)}$ [кэВ]	$J_{\pi}^{(f)}$	Параметр смешивания $\delta$	$E_{\text{ур}}^{(i)}$ [кэВ]	$J_{\pi}^{(i)}$	$E_{\text{г}}$ [кэВ]	$E_{\text{ур}}^{(f)}$ [кэВ]	$J_{\pi}^{(f)}$	Параметр смешивания $\delta$		
1327,7	5/2 <sup>+</sup>	1198,6	129,1	3/2	0,00(+5,-6) <sup>а)</sup>	548,8	5/2 <sup>-</sup>	548,8	0	3/2 <sup>-</sup>	0,18(3)		
1101,5	3/2 <sup>+</sup>	1101,4	0	3/2 <sup>-</sup>	-0,02(2)						-9,3(+19,-29)		
		1060,0	41,5	5/2 <sup>-</sup>	0,05(5)			455,6	93,3	7/2 <sup>-</sup>	-0,00(3)		
		991,7	109,7	5/2 <sup>-</sup>	-0,02(2)						-4,2(+4,-6)		
		972,4	129,1	3/2 <sup>-</sup>	0,00(2)		448,6	5/2 <sup>-</sup>	448,6	0	3/2 <sup>-</sup>	0,22(5)	
		852,0	249,5	5/2 <sup>-</sup>	0,01(4)							-13,7(+53,-238)	
1043,6	3/2 <sup>-</sup>	553,2	548,8	5/2 <sup>-</sup>	0,09(6)						-0,3(6)		
		739,8	303,5	5/2 <sup>+</sup>	0,00(+5,-6)			355,3	93,3	7/2 <sup>-</sup>	-5,3(+16,-31)		
		925,4	109,7	5/2 <sup>-</sup>	0,02(5)						0,20(4)		
		905,8	129,1	3/2 <sup>-</sup>	0,05(+2,-3)		361,7	3/2 <sup>-</sup>	361,9	0	3/2 <sup>-</sup>	2,1(2)	
1035,0	5/2 <sup>+</sup>	785,7	249,5	5/2 <sup>-</sup>	0,16(4)						0,01(2)		
		673,4	361,7	3/2 <sup>-</sup>	0,13(5)		303,6	5/2 <sup>+</sup>	303,6	0	3/2 <sup>-</sup>	0,01(5)	
									262,1	41,5	5/2 <sup>-</sup>	0,00(3)	
955,3	5/2 <sup>+</sup>	845,6	109,7	5/2 <sup>-</sup>	-0,06(3)			174,3	129,1	3/2 <sup>-</sup>	0,00(3)		
945,1	3/2 <sup>+</sup>	945,1	0	3/2 <sup>-</sup>	б)			249,5	5/2 <sup>-</sup>	249,5	0	3/2 <sup>-</sup>	-0,14(9)
		903,6	41,5	5/2 <sup>-</sup>	-0,03(3)							-2,2(5)	
		835,4	109,7	5/2 <sup>-</sup>	0,01(+2,-1)		212,0	3/2 <sup>+</sup>	212,0	0	3/2 <sup>-</sup>	-0,01(1)	
865,4	3/2 <sup>+</sup>	865,4	0	3/2 <sup>-</sup>	-0,02(+2,-3)				170,3	41,5	5/2 <sup>-</sup>	-0,02(1)	
		755,3	109,7	5/2 <sup>-</sup>	-0,10(6)				102,2	109,7	5/2 <sup>-</sup>	-0,04(2)	
		736,0	129,1	3/2 <sup>-</sup>	-0,05(8)								
857,5	3/2 <sup>-</sup>	857,5	0	3/2 <sup>-</sup>	0,25(9)								
					1,8(+4,-3)								
		816,0	41,5	5/2 <sup>-</sup>	-0,29(+6,-7)								
					-1,8(+2,-3)								
		541,3	316,1	5/2 <sup>+</sup>	0,01(8)								

- а) В скобках - значения погрешностей в последних цифрах.  
 б) Этот переход использован для определения коэффициента  $B_2(T)$ .

Криогенная часть установки, работающая на базе  $^3\text{He}-^4\text{He}$  рефрижератора, обеспечивает охлаждение образцов до температуры 12 мК в течение 3 ч и позволяет заменять их на любой стадии работы. Внешнее поляризующее поле, создаваемое парой сверхпроводящих катушек Гельмгольца, может достигать величины 20 кГс.

3. Для проведения физических исследований на установке "СПИН" создана техника и методика:

- для исследования углового распределения гамма-излучения ориентированных ядер и его температурной зависимости;

- для изучения ядерного магнитного резонанса при помощи ядерного излучения с использованием трех разных методов измерений (непрерывного метода с модуляцией, техники адиабатического прохождения через резонанс и импульсных методов);
- для измерения линейной поляризации гамма-излучения при помощи комптоновского поляриметра на базе  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детектора.

Создана система регистрации гамма-излучения, включающая  $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторы, спектрометрическую электронику и многоканальные анализаторы и работающая на линии с ЖБИ.

4. Рассмотрены и решены методические вопросы, связанные с проведением экспериментов на установке "СПИН", обработкой и физическим анализом полученных данных. Разработана технология изготовления ядерных ориентационных термометров, рассмотрены их термометрические свойства при измерении абсолютной температуры в диапазоне 5-30 мК с точностью 2-5%.

5. Исследовано сверхтонкое взаимодействие изотопов тербия с массовым числом  $A = 160, 156, 155$  и  $153$  в матрице гадолиния. Определены значения параметров сверхтонкого магнитного дипольного взаимодействия для  $^{160}\text{Tb}(\text{Gd})$ ,  $^{156}\text{Tb}(\text{Gd})$ ,  $^{155}\text{Tb}(\text{Gd})$  и нижняя граница этого параметра для  $^{153}\text{Tb}(\text{Gd})$ . Значения параметров сверхтонкого электрического квадрупольного взаимодействия получены для  $^{160}\text{Tb}(\text{Gd})$  и  $^{156}\text{Tb}(\text{Gd})$ .

Определено значение сверхтонкого магнитного поля, действующего на примесные ядра тербия в матрице гадолиния.

6. Получено значение магнитного дипольного момента основного состояния  $^{156}\text{Tb}$  и  $^{155}\text{Tb}$ , а для  $^{153}\text{Tb}$  получен его нижний предел. Определено значение электрического квадрупольного момента основного состояния  $^{156}\text{Tb}$ .

7. Методом ядерного ориентирования проведены систематические исследования распада ориентированных радиоактивных ядер изотопов тербия с четным массовым числом  $A = 160, 156, 154, 152$  и  $150$ . Получена большая физическая информация о характере излучения, сопровождающего распад этих изотопов, установлены квантовые характеристики многих ядерных уровней в ядрах гадолиния с массовым числом  $A = 150, 154, 152, 150$  и в ядре диспрозия с  $A = 160$ , проанализирована структура этих состояний.

Параметры смешивания мультипольностей гамма-переходов определены при распаде  $^{160}\text{Tb}$  для 17 переходов, при распаде  $^{156}\text{Tb}$  для

21 перехода, при распаде  $^{154}\text{Tb}$  ( $J=3$ ,  $T_{1/2} = 9\text{ч}$ ) для 2 переходов, при распаде  $^{152}\text{Tb}$  для 33 переходов и при распаде  $^{150}\text{Tb}$  для 23 переходов. Подтверждено значение спина основного состояния  $^{154}\text{Tb}$  ( $T_{1/2} = 21,4\text{ч}$ ) как  $J=0$ .

8. Систематизированы свойства низколежащих уровней четно-четных ядер гадолиния с массовыми числами от 144 до 160. Все низколежащие возбужденные уровни этих ядер хорошо укладываются в систематику, базирующуюся на представлениях о существовании в этих ядрах квазивращательных и квазивибрационных полос. Систематизированы энергии, вероятности переходов и параметры смешивания мультипольностей гамма-лучей. Проведено сравнение имеющихся экспериментальных данных о параметрах смешивания мультипольностей гамма-переходов в  $^{150}, ^{152}, ^{154}$  и  $^{156}\text{Gd}$  с теоретическими расчетами, полученными на основе: динамической теории, базирующейся на методе Струтинского; микроскопической модели с парными и квадрупольными взаимодействиями, развиваемой Кумаром; вращательно-вибрационной модели Грайнера. Проведенный анализ показал, что, несмотря на определенные успехи этих теорий при описании экспериментальных данных, имеются и серьезные ограничения модельных представлений при интерпретации экспериментальных значений параметров смешивания гамма-переходов в ядрах переходной области с  $A \sim 150$ .

На основе проведенного анализа делается заключение, что для ядер гадолиния с четным массовым числом переход от сферических к деформированным ядрам появляется при  $N = 88$ .

9. Проведены исследования распада ориентированных ядер изотопов тербия с нечетными массовыми числами  $A = 155$  и  $153$ . Получена большая физическая информация о характере излучения, сопровождающего распад этих изотопов.

Однозначно определены квантовые характеристики для 16 из 19 наблюдаемых возбужденных уровней в ядре  $^{155}\text{Gd}$ , получены значения параметров смешивания мультипольностей для 15 гамма-переходов. В ядре  $^{155}\text{Gd}$  впервые при распаде ядер с нечетным массовым числом обнаружены уровень бета-вибрационного характера и связанная с ним вращательная полоса.

Однозначно определены квантовые характеристики 21 возбужденного уровня в ядре  $^{153}\text{Gd}$ , получены значения параметров смешивания мультипольностей для 42 гамма-переходов.

Проведен анализ структуры низколежащих возбужденных состояний в ядрах  $^{155}\text{Gd}$  и  $^{153}\text{Gd}$ .

Ю. Анализ поточечных экспериментальных данных на основе имеющихся модельных представлений показал, что:

а) поведение всех наблюдаемых уровней с отрицательной четностью в  $^{155}\text{Gd}$  можно объяснить в рамках обобщенной модели ядра. Анализ уровней с положительной четностью показывает на хорошее согласие экспериментальных данных с теоретическими расчетами по схеме Нильссона с учетом кориолисова взаимодействия и взаимодействия состояний с  $\Delta N = 2$ ;

б) поведение всех наблюдаемых низковозбужденных уровней в  $^{153}\text{Gd}$  также можно объяснить в рамках обобщенной модели ядра. Проблемы описания низколежащих состояний с отрицательной четностью в  $^{153}\text{Gd}$  были решены на основе подбора более правильных параметров одночастичного потенциала схемы Нильссона и учета кориолисова взаимодействия и взаимодействия состояний с  $\Delta N = 2$ . Состояния с положительной четностью хорошо описываются в рамках схемы Нильссона с параметрами деформации, установленными ранее;

в) для ядер гадолиния с нечетным массовым числом в переходной области с  $A \sim 150$  переход от сферических к деформированным ядрам происходит почти внезапно между  $N = 87$  и  $N = 89$ .

II. Полученные данные со всей наглядностью продемонстрировали преимущества техники ядерного ориентирования, позволяющей с большим успехом решать экспериментально сложные физические задачи.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

- I. а) И.И.Громова, Я.Дупак, Я.Конишек, Т.И.Крацкова, Н.А.Лебедев, А.Махова, Б.С.Неганов, И.Ота, В.Н.Павлов, И.Прохазка, И.Ржиговска, М.Фингер, В.И.Фоминых, М.И.Фоминых, Хан Хен Мо, В.М.Цупко-Ситников, А.Ф.Щусь, З.Яноут. Физический комплекс для исследований распада ориентированных ядер. Установка "СПИН". Прикладная ядерная спектроскопия. Вып. 9. М., Атомиздат (1979)3.
- б) И.Навратил, Б.С.Неганов, В.Н.Павлов, М.Фингер, В.М.Цупко-Ситников. Установка "СПИН". Депонированная публикация ОИЯИ, БЗ-6-9223, Дубна, 1975.
2. Я.Дупак, Я.Конишек, В.Н.Павлов, М.Петржик, М.Роттер, Б.Седлак, М.Фингер, И.Янски. Ядерный магнитный резонанс радиоактивных

ядер, ориентированных при сверхнизких температурах. Препринт ОИЯИ, 6-80-48I, Дубна, 1980.

3. В.Бенда, М.Гартль, И.Ржиговска, И.Ференцей, М.Фингер. Измерение линейной поляризации гамма-излучения на установке "СПИН". Тезисы докладов XXX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Ленинград, 18-2I марта 1980г. "Наука", Ленинград, 1980, стр.55I.
4. Я.Дупак, Я.Конишек, А.Махова, В.Н.Павлов, И.Ржиговска, М.Фингер, А.Хадима, А.Ф.Щусь. Применение ядерных термометров в исследованиях с ориентированными ядрами. Тезисы докладов XXVII совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Ташкент, 1977г. Л., "Наука", 1977, стр.367.
5. J.Dupák, M.Finger, M.I.Fominych, V.I.Fominych, J.Koníček, T.I.Kracíková, A.Machová, V.N.Pavlov, I.Procházka, V.M.Tsupko-Sitnikov, A.F.Schus, Z.Janout, J.Říkovská. The use of radioactive thermometers for the measurement of low temperatures on the SPIN facility. Proceedings of the V. conference of Czechoslovak physicists, Košice, 1977, p.333.
6. P.Galan, T.T.Galanová, M.Finger, J.Lipták, J.Urbanc, J.Vrzal. The  $^{160}\text{Tb} - ^{160}\text{Dy}$  decay. Czech. J. Phys., B19(1969)1153.
7. И.И.Громова, Я.Дупак, Я.Конишек, Т.И.Крацкова, Н.А.Лебедев, Б.С.Неганов, В.Н.Павлов, И.Прохазка, М.Фингер, В.М.Цупко-Ситников, А.Ф.Щусь, А.Махова, У.Д.Гамильтон, Р.А.Фокс. Изучение распада ориентированных ядер  $^{160}\text{Tb}$ . Изв. АН СССР, сер. физ., т43, №1 (1979), 53.
8. I.Uluer, C.A.Kalfas, W.D.Hamilton, R.A.Fox, D.D.Warner, M.Finger, Do Kim Chung. Multipole mixing ratios of transitions in  $^{156}\text{Gd}$ . J.Phys. G: Nucl.Phys., vol. 1, No 4 (1975)476.
9. J.Říkovská, A.Machová, W.D.Hamilton, J.Dupák, Chan Chen Mo, M.Finger, N.A.Lebedev, B.S.Neganov, V.N.Pavlov, A.F.Schus. Nuclear orientation of  $^{156}\text{Tb}$  in gadolinium matrix. Czech. J. Phys., B29 (1979)620.
10. J.Dupák, J.Ferencei, M.Finger, A.Jankech, J.Koníček, A.F.Schus, J.Říkovská, A.Machová, W.D.Hamilton. Nuclear orientation of  $^{152,154}\text{Tb}$  in gadolinium. Preprint JINR, E6-80-435, Dubna, 1980.



- II. C.A.Kalfas, W.D.Hamilton, R.A.Fox, M.Finger. Multipole mixing ratios of electromagnetic transitions in  $^{152}\text{Gd}$ . Nucl.Phys., A196(1972)615.
12. Я.Дупак, Я.Коничек, В.Н.Павлов, И.Ржиковска, И.Ференцей, М.Фингер, Хан Хен Мо, А.Ф.Щусь. Ядерная ориентация  $^{152}\text{Tb}$ . Тезисы докладов XXIX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Рига, 1979г. Л., "Наука", 1979, стр. 96-97.
13. W.D.Hamilton, C.A.Kalfas, M.Finger. Multipole mixing ratios in the mass 150 transitional region. Selected topics in nuclear structure, Contributions V 1, JINR, D-9682, p. 80, Dubna, 1976.
14. W.D.Hamilton, R.A.Fox, D.D.Warner, M.Finger, T.I.Kracíková, V.N.Pavlov, A.F.Schus. Nuclear orientation studies of the  $N = 86$  nucleus  $^{150}\text{Gd}$ . J. Phys. G: Nucl. Phys., Vol 4, No 12 (1978)1871.
15. Я.Дупак, Т.И.Крацикова, Н.А.Лебедев, В.Н.Павлов, М.Петржик, М.Фингер, В.М.Цупко-Ситников, А.Янкех, У.Д.Гамильтон, С.Гирит. Параметры смешивания мультипольностей гамма-переходов при распаде 73,9 мин  $^{148}\text{Tb}$ . Тезисы докладов XXX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Ленинград, 1980. Л., "Наука", 1980, стр. 240.
16. P.Galan, V.V.Kuznetsov, M.Ya.Kuznetsova, J.Urbanc, M.Finger, D.Khristov, O.B.Nielsen, J.Jursik.  $^{155}\text{Gd}$  levels excited in the decay of  $^{155}\text{Tb}$ . Czech. J. Phys., B19(1969)1153.
17. M.Finger, P.Galan, M.Ya.Kuznetsova, J.Lipták, J.Urbanc, J.Vrzal. The decay  $^{155}\text{Tb} - ^{155}\text{Gd}$ . Preprint JINR, E-2908, Dubna, 1966.
18. П.Галан, М.Кузнецова, М.Фингер, И.Юрсик. Метод обработки двумерных спектров совпадений и его применение к анализу гамма-гамма-совпадений на Ge(Li)-детекторах при распаде  $^{155}\text{Tb}$ . Czech. J. Phys., B19(1969)232.
19. D.D.Warner, W.D.Hamilton, R.A.Fox, M.Finger. Nuclear orientation and angular correlation studies of gamma ray cascades in  $^{155}\text{Gd}$  populated by the decay of  $^{155}\text{Tb}$ . J.Phys. G: Nucl. Phys., Vol. 1, No 1 (1975)95.
20. J.Dupák, M.Finger, J.Koníček, T.Kracíková, J.Muhonen, V.N.Pavlov, I.Procházka, W.D.Hamilton. Nuclear orientation study of  $^{155}\text{Tb}$  decay. Czech. J. Phys., B29 (1979)361.
21. Saghurun-Nisa Khan, R.A.Fox, W.D.Hamilton, M.Finger. Magnetic moment measurements of some nuclear levels in  $^{155}\text{Gd}$ ,  $^{156}\text{Gd}$  and  $^{160}\text{Dy}$ . J.Phys. G: Nucl.Phys., Vol. 1, No 7 (1975)727.
22. D.D.Warner, W.D.Hamilton, R.A.Fox, M.Finger, J.Koníček, V.N.Pavlov, V.M.Tsupko-Sitnikov. Directional distribution of gamma-rays in  $^{153}\text{Gd}$  from the decay of  $^{153}\text{Tb}$ . J.Phys. G: Nucl. Phys., Vol.4, No 12 (1978)1887.
23. J.Dupák, M.Finger, M.I.Fominykh, J.Koníček, T.I.Kracíková, I.Procházka, V.N.Pavlov, M.Petřík, V.M.Tsupko-Sitnikov, J.Muhonen. On magnetic dipole moment of the  $^{153}\text{Tb}$  ground state. Preprint JINR, E6-80-383, Dubna, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
I июля 1980 года.