



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

A 50

6-90-85

АЛИКОВ

Борис Алексеевич

УДК 539.14+539.16

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
НЕЧЕТНЫХ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Специальность: 01.04.16 - физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора физико-математических наук

Дубна 1990

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований и в Лаборатории физики атомного ядра НИИ прикладной физики ТашГУ

Официальные оппоненты:

Член-корреспондент АН УССР,
доктор физико-математических наук,
профессор

ЗАЛЮБОВСКИЙ
Илья Иванович

доктор физико-математических наук

ЗЕЛЕНСКАЯ
Наталья Семеновна

доктор технических наук

ЦУПКО-СИТНИКОВ
Всеволод Михайлович

Будущее научно-исследовательское учреждение :
НИИФ Ленинградского университета.

Защита диссертации состоится " ____ " _____ 1990 года
в " ____ " часов на заседании Специализированного совета
Д-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного
института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " ____ " _____ 1990г.

Ученый секретарь
Специализированного совета

Ю. А. БАТУСОВ

Общая характеристика работы

Настоящая диссертационная работа включает в себя результаты исследований свойств основных и возбужденных состояний нейтронодефицитных ядер редкоземельной области, выполненных автором в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и в Лаборатории физики атомного ядра НИИ прикладной физики ТашГУ.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

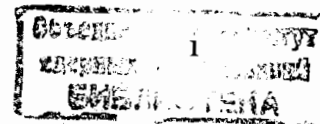
Современная полумикроскопическая теория ядра, развиваемая на основе экспериментальной информации о свойствах основных и возбужденных состояний конкретных ядер, основана на модельных представлениях, позволяющих при определенном числе упрощающих предположений объяснить и предсказывать отдельные их свойства.

Рассмотренная в работе область ядер включает в себя нечетные ядра редкоземельных элементов, как со значительной, так и с небольшой (так называемые "переходные" ядра) статической деформацией в области массовых чисел $A=151-173$. Исследование столь широкого круга ядер позволило выявить и проследить некоторые закономерности и особенности в изменении их свойств в зависимости от числа нейтронов и протонов, соответственно, в ряду изотонов и изотопов.

Критическое рассмотрение и усовершенствование используемых моделей позволили повысить точность описания энергий состояний, соответствующих неротационным и вращательным возбуждениям, а также объяснить наблюдаемые аномалии в поведении приведенных вероятностей электромагнитных переходов. Анализ причин наблюдаемых расхождений теории и эксперимента, выявленных в работе, указывает пути дальнейшего развития теоретического описания деформированных ядер. Все это обуславливает актуальность представленных в диссертации исследований.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1) Экспериментальное изучение и систематика основных свойств нечетных деформированных ядер редкоземельных элементов (РЗЭ).



2) Теоретическое исследование наблюдаемых свойств в рамках современных моделей атомного ядра.

В экспериментальных исследованиях основное внимание уделялось изучению вероятностей электромагнитных переходов, являющихся характеристиками наиболее чувствительных к деталям структуры ядерных состояний, а следовательно, являющихся эффективным тестом для проверки ядерных моделей. В связи с этим измерялись времена жизни ядерных состояний, а в случае отсутствия необходимых сведений о схеме уровней исследуемых ядер и о квантовых характеристиках состояний, проводились дополнительные исследования схем распада.

Для выявления закономерностей в изменении конкретных свойств изучаемых ядер систематизировались значения энергий неротационных и вращательных возбуждений с одинаковыми квантовыми характеристиками, величины магнитных и электрических квадрупольных моментов основных и возбужденных состояний, анализировались вероятности электромагнитных переходов между состояниями с определенной структурой.

Теоретические исследования направлены на:

- проверку возможностей используемых полумикроскопических моделей при описании энергий и характеристик возбужденных состояний, а также других свойств большого круга нечетных деформированных ядер $R39$;
- выяснение роли остаточных взаимодействий при расчете тех или иных свойств рассматриваемых ядер, в особенности вероятностей γ -переходов;
- интерпретацию и анализ изменения величин вероятностей электромагнитных переходов, наблюдаемого в представленных систематиках;
- определение путей дальнейшего совершенствования используемых моделей ядра.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

Впервые определены экспериментальные значения времени жизни ряда нижайших возбужденных состояний в нечетных ядрах гадолиния, гольмия, эрбия, тулия и иттербия. Там, где это необходимо, для определения экспериментальных значений приведенных вероятностей переходов были проведены дополнительные спектроскопические исследования. В частности, проведено комплексное исследование свойств переходного ядра ^{159}Gd .

Впервые для широкого круга нечетных ядер с $63 \leq Z \leq 71$ и $88 \leq N \leq 103$ в рамках единого полумикроскопического подхода, включающего спаривательное, кориолисово и квазичастично-фононное взаимодействия, рассчитаны энергии и структура основных и возбужденных состояний, электромагнитные моменты, а также вероятности большого числа электромагнитных переходов. Количественный анализ величин приведенных вероятностей позволил выявить ряд важных особенностей их поведения, связанных с

наличием остаточных взаимодействий при полумикроскопическом описании атомного ядра.

Впервые в рамках метода оболочечной поправки Струтинского рассчитаны параметры равновесной деформации основного и ряда возбужденных одноквазичастичных состояний нечетных ядер с $60 \leq Z \leq 71$ и $84 \leq N \leq 103$. Полученные значения параметров деформации β_{20} и β_{40} использовались в вычислениях среднего поля обсуждаемых нечетных ядер.

НАУЧНАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

Полученные экспериментальные результаты существенно расширяют и уточняют информацию о свойствах многих возбужденных состояний деформированных нечетных ядер редкоземельных элементов с $A=153-173$. Они вошли в такие широко распространенные издания, как например, Nuclear Data Sheets. Применение полученных данных в теоретической ядерной физике будет особенно полезным для дальнейшего развития моделей атомного ядра.

Предложенная методика расчетов структуры и вероятностей электромагнитных переходов в рамках модели, являющейся синтезом неадиабатической вращательной и квазичастично-фононной моделей, может быть успешно использована для количественного анализа свойств ядер, относящихся к другим областям деформации.

Приведенный в работе комплексный теоретический анализ структуры возбужденных состояний и вероятностей электромагнитных переходов большого числа деформированных ядер показал необходимость более полного учета остаточных взаимодействий и определил степень их влияния на конкретные характеристики атомного ядра.

В целом показано, что изучение свойств ядер, основанное на количественном анализе большой совокупности экспериментальных данных в рамках единого теоретического подхода, дает надежные глобальные выводы о природе наблюдаемого поведения (в частности "аномального") изучаемых характеристик, таких как: спектры возбужденных состояний, электрические моменты, вероятности электромагнитных переходов и другие.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Основные результаты диссертационной работы докладывались на XXX-XXXII Всесоюзных совещаниях по структуре атомного ядра, на Всесоюзных семинарах: "Времена жизни возбужденных состояний ядер" (Ленинград, 1982 г.) и "Коллективная ядерная динамика" (Одесса, 1987 г.), научных семинарах ЛЯП и ЛТФ ОИЯИ, ЛГУ и НИИ прикладной физики

ТашГУ. По теме диссертационной работы опубликовано 40 работ, список которых представлен в конце диссертации.

ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИИ

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы - всего 317 страниц текста, включая 60 рисунков, 73 таблицы и библиографию из 246 наименований на 27 страницах.

На защиту выносятся:

1. Результаты измерений времен жизни возбужденных состояний в ядрах ^{159}Gd , ^{157}Ho , ^{157}Er , ^{159}Er , ^{161}Er , ^{163}Tm , ^{165}Tm , ^{167}Tm , ^{165}Yb и ^{167}Yb методами $\gamma\gamma$ -, $e\gamma$ - и ee - задержанных совпадений.
2. Определение экспериментальных значений приведенных вероятностей $B(M1)$, $B(E2)$ и $B(E1)$ электромагнитных переходов в нечетных деформированных ядрах редкоземельной области с $151 \leq A \leq 173$.
3. Исследование схемы распада $^{159}\text{Tb} \rightarrow ^{159}\text{Gd}$:
- измерение спектров $\gamma\gamma$ - и $e\gamma$ -совпадений, $\gamma\gamma$ -угловых корреляций;
- определение спинов, четностей и $\log ft$ возбужденных состояний ^{159}Gd с энергией $< 1,5$ МэВ.
4. Методические разработки, позволяющие повысить точность и эффективность измерений времен жизни возбужденных состояний короткоживущих ядер методом задержанных совпадений.
5. Теоретические расчеты параметров равновесной формы (квадрупольных и гексадекапольных моментов ядер в основном и возбужденных одноквазичастичных состояниях) нечетных ядер с $60 \leq Z \leq 71$ и $84 \leq N \leq 103$.
6. Модификация модели "ротатор плюс частица", заключающаяся в учете члена "отдачи" в гамильтониане нечетного ядра и позволившая в среднем значительно улучшить описание энергий неротационных состояний.
7. Теоретический анализ структуры неротационных и вращательных состояний, вероятностей $E1$, $E2$ и $M1$ -переходов в нечетных ядрах Eu , Gd , Tb , Dy , Ho , Er , Tm и Yb в рамках подхода, объединяющего модифицированную модель "ротатор плюс частица" (ММРЧ) и квазичастично-фононную модель (КФМ).
8. Выводы, основанные на результатах расчетов энергий и структуры вращательных состояний широкого круга нечетных ядер в рамках ММРЧ, учитывающей взаимодействие квазичастиц с фононами, о том, что именно вибрационные примеси состояний главным образом

ответственны за наблюдаемое на эксперименте ослабление кориолисова взаимодействия.

9. Анализ свойств $E1$ -переходов в рамках подхода, объединяющего ММРЧ и КФМ с включением октупольных и дипольных сил. В частности, обнаружение эффекта значительного усиления матричных элементов $E1(\Delta K=0)$ -переходов по сравнению с матричными элементами $E1(\Delta K=1)$ -переходов в ядрах с $A \sim 150$. Объяснение на базе этого подхода тенденции уменьшения вероятностей $E1$ -переходов с $\Delta K=0$ с ростом массового числа в области $151 \leq A \leq 171$ и "хаотического" изменения вероятностей $E1$ -переходов с $|\Delta K|=1$.
10. Вывод о том, что при вычислении вероятностей межполосных $E2$ -переходов в рамках подхода, объединяющего ММРЧ и КФМ, помимо главных одноквазичастичных и γ -вибрационных компонентов состояний, важен учет парно-вибрационных и β -вибрационных компонентов с $\Delta K=0$, а также малых (порядка нескольких процентов) γ -вибрационных примесей.
11. Вывод о том, что аномальная задержанность $E1(|\Delta K|=1)$ -переходов объясняется взаимной компенсацией компонентов с $\Delta K=0$ и $|\Delta K|=1$, а межполосных $E2$ -переходов - компенсацией компонентов с $\Delta K=0$ и $|\Delta K|=2$.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении дается краткое обоснование актуальности исследования свойств нечетных деформированных ядер. Подчеркивается, что особый интерес в таких исследованиях представляют вероятности электромагнитных переходов как эффективное средство для проверки действительности имеющихся моделей ядра. Указывается на то, что в настоящее время наиболее перспективным подходом, позволяющим достаточно хорошо описывать структуру нечетных деформированных ядер, является подход, объединяющий неадиабатическую вращательную модель и квазичастично-фононную модель и, тем самым, одновременно учитывающий три типа остаточных взаимодействий: спаривательное, кориолисово и квазичастично-фононное. Широкое применение этого подхода для анализа свойств переходных и сильнодеформированных ядер может способствовать как пониманию наблюдаемых в эксперименте закономерностей и аномалий (например, в поведении вероятностей γ -переходов), так и выявлению недостатков и пределов применимости самих моделей.

В первой главе рассмотрены методические вопросы эксперимента. Кратко описаны используемые установки для измерения спектров γ -лучей, $\gamma\gamma$ - и $e\gamma$ -совпадений, корреляционные установки, созданные при участии

автора, различные типы многоканальных временных спектрометров, позволяющих измерять методом задержанных совпадений времена жизни ядерных состояний в диапазоне 10^{-11} - 10^{-6} с. Значительные усилия предприняты для получения высоких значений временного и энергетического разрешения, большей эффективности регистрации совпадений и стабильности работы установок. В частности, применение пленочных сцинтилляторов толщиной 0,05-0,5 мм с внедренными в них на электромагнитном масс-сепараторе радиоактивными ионами позволило значительно повысить эффективность регистрации совпадений с низкоэнергетическими электронами внутренней конверсии (ЭВК) и изучать, таким образом, короткоживущие ядра со слабой активностью.

Применение в качестве детектора ЭВК магнитных спектрометров со сцинтилляционной системой детектирования позволяет добиться одновременно достаточно высокого как энергетического, так и временного разрешения. Описаны два типа временных анализаторов, созданных на базе магнитно-линзового бета-спектрометра типа Герцоля: установки $e\gamma$ - и ee -задержанных совпадений, позволяющие измерять времена жизни ядерных уровней с $T_{1/2} \geq 0,1$ нс.

В тех случаях, когда для измерения времен жизни возбужденного ядерного состояния ($T_{1/2} \approx 1-10^3$ нс) требовалось высокое энергетическое разрешение в одном из каналов установки, применялись полупроводниковые Si(Li)- или Ge(Li)- детекторы.

Существенно повысить объем информации, получаемой при регистрации $\gamma\gamma$ -совпадений, удается при использовании метода трехмерного амплитудно-временного анализа $\gamma\gamma(t)$ -совпадений на установке, работающей в режиме непрерывной связи с ЭВМ. Описанная в работе установка позволяет проводить амплитудно-временной анализ совпадений практически для неограниченного числа "окон" в энергетическом и временном спектрах совпадающих излучений.

Значительное место при определении времени жизни ядерного уровня занимает этап обработки результатов измерений. Информация о времени жизни содержится во временных распределениях совпадающих излучений, возбуждающих и разряжающих исследуемые состояния (кривая задержанных совпадений - КЗС). Используемые при анализе КЗС программы обработки, были разработаны в НЭОЯСиГХ ЛЯП при непосредственном участии автора диссертации.

В заключении первой главы описаны применяемые в работе методы получения радиоактивных источников.

Во второй главе приведены результаты экспериментального изучения нечетных ядер гадолиния, гольмия, эрбия, тулия и иттербия. Особое внимание в работе было уделено комплексному изучению свойств

переходного ядра $^{153}_{64}\text{Gd}$, имеющего очень сложный спектр ядерного излучения (в диапазоне энергий 0-1500 кэВ зарегистрировано 316 гамма-переходов). Исследования были предприняты в связи с тем, что имеющаяся экспериментальная и теоретическая информация о свойствах ядра ^{153}Gd во многих случаях противоречива и недостаточна. Нами измерены $\gamma\gamma$ - и $e\gamma$ -совпадения, корреляции направлений γ -излучения при распаде ^{159}Tb с целью определения схемы распада ^{159}Tb , спинов и четностей ряда возбужденных состояний ^{153}Gd . Спектры $\gamma\gamma$ -совпадений измерялись на установке с двумя Ge(Li)-детекторами. Исследования $e\gamma$ -совпадений проводились на установке, собранной на базе безжелезного бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем и Ge(Li)-детектором: измерены спектры γ -лучей в совпадениях с наиболее интенсивными линиями ЭВК L41,5; L51,8; K109,7; K129,2+L87,6 и K195,2+L151,8 кэВ, разряжающих нижние возбужденные состояния ^{153}Gd . Для иллюстрации на рис.1 приведены одиночный γ -спектр ^{153}Tb и впервые измеренные нами спектры $e\gamma$ -совпадений с ЭВК L41,5 и L51,8. Комплексный анализ полученных спектров совпадений позволил существенно уточнить имеющуюся схему возбужденных уровней ^{153}Gd : идентифицировано 12 новых состояний, при этом исключено 8 уровней, предложенных в более ранних работах. На основе результатов $\gamma\gamma$ угловых корреляций однозначно установлены спины ряда уровней с $E < 1200$ кэВ.

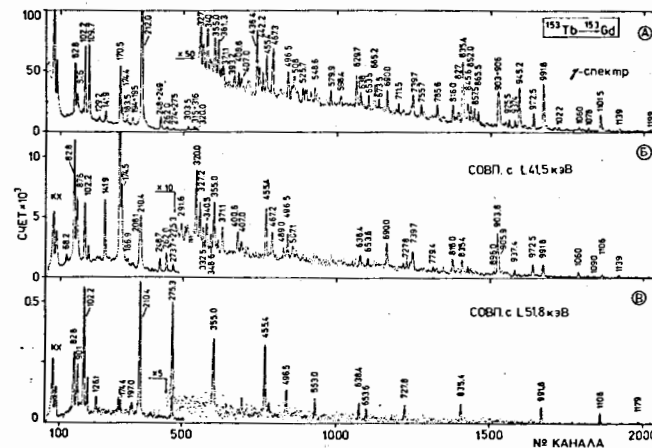


Рис. 1

Впервые измерены времена жизни уровней ^{153}Gd 93,4 и 183,5 кэВ, для уровней 109,8 и 129,2 кэВ уточнены значения $T_{1/2}$ и, наконец,

оценены верхние пределы периодов полураспада состояний 212,0; 216,1 и 303,5 кэВ. Для примера, на рис. 2 и 3 приведены временные распределения γ -совпадений при измерении периодов полураспада уровней 41,5 кэВ ($T_{1/2} = 4,0(1)$ нс), 93,4 кэВ ($T_{1/2} = 0,45(8)$ нс), 109,8 кэВ ($T_{1/2} = 0,24(2)$ нс) и 129,2 кэВ ($T_{1/2} = 2,3(2)$ нс). Методом γ -угловых корреляций определены спины низкоэнергетических состояний с энергией 41,5 ($5/2^-$); 109,8 ($5/2^-$); 129,2 ($3/2^-$); 212,0 ($3/2^+$); 249,5 ($5/2^-$); 303,5 ($5/2^+$) и 316,1 ($3/2^+$), которые были подтверждены позднее в работе Варнера и др.^{*/} при исследовании анизотропии γ -излучения ориентированных ядер Тб.

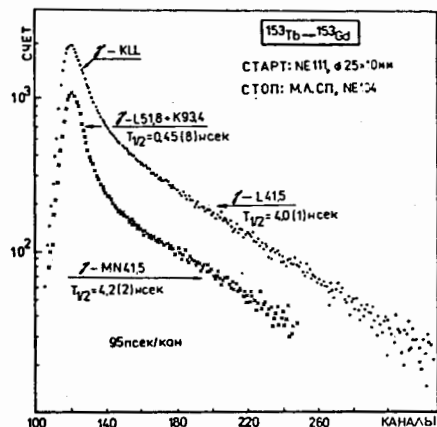


Рис. 2.

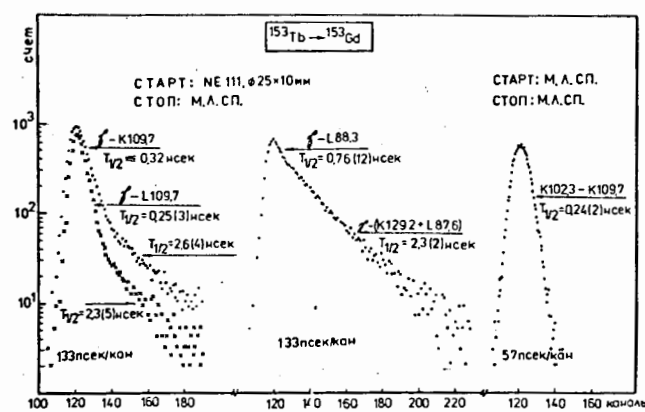


Рис. 3.

Разработанная нами методика внедрения радиоактивных изотопов в пленочные сцинтилляторы была применена в измерениях времени жизни возбужденного состояния 10,3 кэВ ($T_{1/2} = 7(1)$ нс) ^{157}Er , возбуждаемого при радиоактивном распаде короткоживущего изотопа ^{157}Tm ($T_{1/2} = 200$ с). Временные спектры, полученные нами в этих измерениях, приведены на рис. 4.

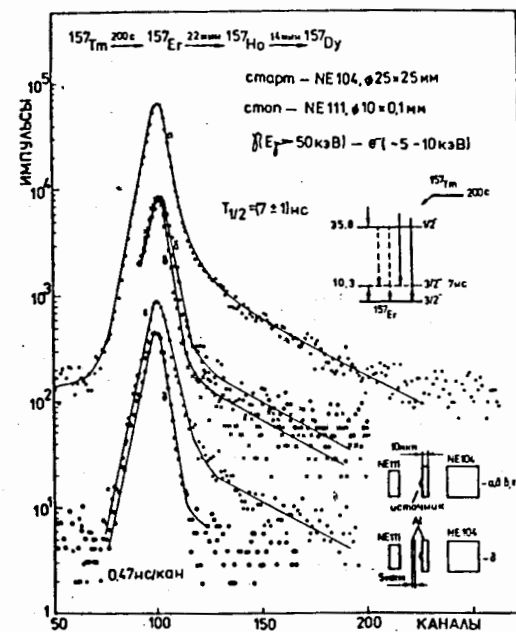


Рис. 4

В третьей главе рассмотрены основные проблемы полумикроскопического описания свойств нечетных деформированных ядер. Дается краткое описание используемых моделей, формализма расчета энергий и структуры неротационных состояний в рамках модели независимых квазичастиц и квазичастично-фононной модели, а также ротационных состояний - в рамках неадиабатической вращательной модели. Описывается метод вычисления равновесных параметров формы ядра. Основы используемого в работе полумикроскопического описания свойств деформированных ядер были заложены в работах сотрудников Лаборатории теоретической физики ОИЯИ. В работе Рекстада и др.^{*/} отмечалось, что для лучшего описания энергий одноквазичастичных состояний, особенно ядер переходной области, таких как ^{159}Gd , в гамильтониане модели "ротатор плюс частица" важно учитывать так называемое взаимодействие отдачи ядра:

$$H_j = A(j^2 - j_0^2), \text{ где } A = \hbar^2 / 2J - \text{инерционный параметр четно-четного остова.}$$

Предлагаемая нами модификация модели "ротатор плюс частица" заключается в учете члена отдачи на уровне определения одночастичной схемы. Этот подход приводит к той обычной схеме уравне-

*) D.D. Warner et al. - J.Phys. (London), 1978, V. G4, P. 1887.

*) J.Rekstad et al. - Nucl.Phys., 1981, V. A371, P. 364.

Табл. 1

ний, которая решается в модели независимых квазичастиц, при определении химпотенциала λ_ρ и корреляционной функции C_ρ . Однако при этом происходит перестройка одночастичного спектра по формуле: $\epsilon'_s = f_s + Af_s$, где f_s - ротационная поправка, обусловленная взаимодействием отдачи.

Если волновая функция деформированного нечетного ядра выбрана в виде

$$\varphi(s) = \sum_{n, l, j} a_{n, l, j}^k \varphi_{n, l, j}^k, \quad \text{то} \quad f = \sum_{n, l, j} (a_{n, l, j}^k)^2 j(j+1).$$

Следовательно, полная энергия одноквазичастичного состояния ρ с угловым моментом I будет иметь вид:

$$E(\rho, I) = \epsilon_\rho + Af_\rho + 2 \sum_s (\epsilon_s Af_s) v_s^2 - \frac{C_\rho^2}{G} + A [I(I+1) - 2K_\rho^2 + (-1)^{I+1/2} a_6 k_{\rho, 1/2}].$$

С определенными таким образом одноквазичастичными энергиями и одноквазичастичными характеристиками далее можно обычным образом включить остаточное мультиполь-мультипольное взаимодействие и рассчитать структуру неротационных состояний в рамках квазичастично-фононной модели. Используя обычную модель "ротатор плюс частица" и вычисляя матричные элементы взаимодействия Кориолиса в базе квазичастично-фононных волновых функций, мы можем, диагонализировав матрицу кориолисова взаимодействия, получить энергии и амплитуды смешивания состояний нечетного ядра.

Приведенные в главе 4 результаты конкретных расчетов энергий и структуры неротационных состояний показали, что предложенная нами модификация модели "ротатор плюс частица" позволяет существенно лучше описывать энергии низколежащих (до 1 МэВ) неротационных состояний, в частности энергии и структуру $|\Delta N| = 2$ взаимодействующих уровней. Необходимо отметить, что дальнейшее улучшение описания энергий неротационных состояний мы видим в использовании подхода, развитого в работах В.В.Пашкевича, в котором энергия и равновесные параметры формы рассчитываются в минимуме полной энергии ядра.

Расчет вероятностей E1-, E2- и M1-переходов проводится в рамках подхода, объединяющего неадиабатическую вращательную модель и квазичастично-фононную модель.

В четвертой главе приведены результаты расчетов энергий и структуры неротационных состояний, а также результаты расчетов в рамках метода оболочечной поправки Струтинского параметров равновесной деформации нечетных ядер Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm и Yb как в основном, так и в ближайших к поверхности ферми одноквазичастичных состояниях. Для примера в таблице 1 и на рис.5 приведены результаты расчетов для нечетных ядер Yb.

Ядро		1/2 ⁺ [521]	3/2 ⁺ [521]	3/2 ⁺ [651]	5/2 ⁺ [523]	5/2 ⁺ [642]	5/2 ⁺ [512]	7/2 ⁺ [514]	7/2 ⁺ [633]	11/2 ⁺ [505]
163Yb	E ₂	0,217	0,230	0,220	0,222	0,237	0,202	0,198	0,219	0,297
	E ₄	-0,005	-0,024	-0,013	-0,012	-0,025	-0,007	-0,006	-0,006	-0,007
165Yb	E ₂	0,235	0,246	0,230	0,241	0,243	0,223	0,217	0,239	0,363
	E ₄	0,001	-0,015	0,004	-0,009	-0,012	-0,002	0,000	-0,001	0,004
167Yb	E ₂	0,245	0,253	0,233	0,255	0,244	0,234	0,231	0,247	0,366
	E ₄	0,009	-0,001	0,017	-0,004	0,006	0,006	0,010	0,007	0,016
169Yb	E ₂	0,252	0,253	0,234	0,255	0,243	0,242	0,237	0,255	0,366
	E ₄	0,017	0,015	0,031	0,012	0,022	0,017	0,019	0,015	0,029
171Yb	E ₂	0,255	0,251	0,235	0,252	0,242	0,246	0,241	0,252	0,364
	E ₄	0,028	0,029	0,042	0,026	0,035	0,030	0,031	0,030	0,042
173Yb	E ₂	0,241	0,241	0,233	0,242	0,234	0,250	0,241	0,240	0,354
	E ₄	0,040	0,040	0,052	0,038	0,046	0,041	0,042	0,041	0,053

В рамках неадиабатической вращательной модели проведены расчеты спектра ротационных состояний и амплитуд кориолисова смешивания для нечетных деформированных ядер Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm и Yb, при этом коэффициенты ослабления матричных элементов кориолисова взаимодействия подбирались, исходя из принципа наилучшего согласия рассчитанных энергий вращательных состояний с экспериментальными энергиями. Для нечетно-протонных ядер Eu и Tb и нечетно-нейтронных ядер Er и Yb были проведены расчеты энергий и амплитуд смешивания в рамках ММРЧ с учетом квазичастично-фононного взаимодействия.

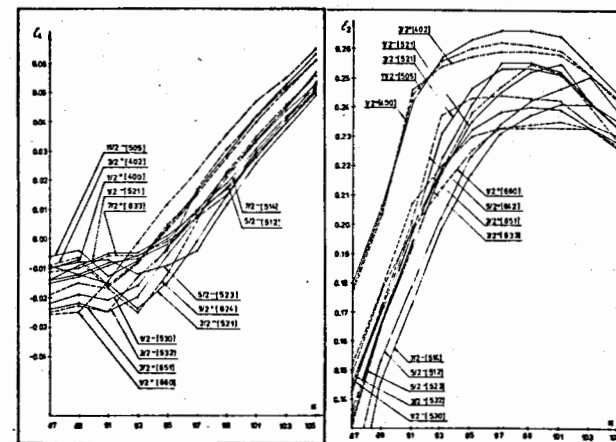


Рис. 5

Расчеты показали (табл.2), что вынужденное ослабление матричных элементов $\langle j^+ \rangle$ главным образом определяется влиянием квазичастично-фононного взаимодействия, приводящего к фрагментации одноквазичастичных компонентов волновых функций по состояниям с одинаковыми значениями квантовых чисел K^π и близкими значениями энергий.

Таблица 2. Матричные элементы оператора J^+ и соответствующие факторы ослабления ($\alpha_{\text{подг.}} = \langle f | J^+ | i \rangle_{\text{подг.}} / \langle f | J^+ | i \rangle_{\text{МНК}}$, $\alpha_{\text{КФМ}} = \langle f | J^+ | i \rangle_{\text{КФМ}} / \langle f | J^+ | i \rangle_{\text{МНК}}$).

$I^\pi [N_n, \lambda]$	$I^\pi [N_n, \lambda]$	167 γ_b			169 γ_b			171 γ_b			173 γ_b		
		$\alpha_{\text{подг.}}$	$\alpha_{\text{КФМ}}$	$\alpha_{\text{МНК}}$	$\alpha_{\text{подг.}}$	$\alpha_{\text{КФМ}}$	$\alpha_{\text{МНК}}$	$\alpha_{\text{подг.}}$	$\alpha_{\text{КФМ}}$	$\alpha_{\text{МНК}}$	$\alpha_{\text{подг.}}$	$\alpha_{\text{КФМ}}$	$\alpha_{\text{МНК}}$
7/2 ⁻ [514]	5/2 ⁻ [523]	3,494	0,51	0,83	3,633	0,57	0,47	3,717	0,28	0,44	3,715	0,33	0,55
7/2 ⁻ [503]	5/2 ⁻ [512]	-	-	-	3,043	0,44	0,46	3,015	0,59	0,58	3,033	0,27	0,63
5/2 ⁻ [523]	3/2 ⁻ [521]	0,801	0,69	0,83	1,012	0,42	0,78	1,013	0,22	0,22	1,098	0,54	0,59
5/2 ⁻ [512]	3/2 ⁻ [521]	3,740	0,57	0,42	3,661	0,41	0,54	3,595	0,38	0,42	3,590	0,65	0,63
3/2 ⁻ [521]	1/2 ⁻ [510]	-1,754	0,28	0,45	-1,768	0,20	0,78	-1,845	0,24	0,60	-1,877	0,20	0,56
1/2 ⁻ [521]	1/2 ⁻ [521]	0,298	2,30	2,10	0,398	1,51	1,73	0,546	1,28	1,26	0,618	1,11	1,12
9/2 ⁺ [624]	7/2 ⁺ [633]	5,594	0,55	0,83	5,569	0,87	0,75	5,550	0,74	0,68	5,525	0,54	0,62
7/2 ⁺ [633]	5/2 ⁺ [642]	6,082	0,81	0,83	6,059	0,73	0,63	6,035	0,86	0,64	6,002	0,93	0,60
5/2 ⁺ [642]	3/2 ⁺ [651]	6,390	0,81	0,80	6,373	0,76	0,54	6,640	0,75	0,73	6,283	0,43	0,72
3/2 ⁺ [651]	1/2 ⁺ [660]	6,562	0,82	0,83	6,541	0,79	0,78	6,449	0,82	0,58	6,407	0,48	0,72
1/2 ⁺ [660]	1/2 ⁺ [660]	-6,619	0,65	0,82	-6,599	0,48	0,67	-6,511	0,62	0,62	-6,480	0,63	0,72

В пятой главе диссертации проводится феноменологический и микроскопический анализ вероятностей электромагнитных переходов в нечетных деформированных ядрах редкоземельной области.

Ротационная полоса 1/2⁺ [411] является полосой основного состояния в нечетных ядрах тулия с A=163-171. Наши измерения периодов полураспада нижних возбужденных состояний этой ротационной полосы с I^π=3/2, 5/2 и 7/2, а также данные авторов других работ о свойствах этой полосы позволили вычислить вероятности M1- и E2-переходов, разряжающих эти состояния. Слабое возмущение кориолисовым взаимодействием структуры нижайших состояний этих полос дает нам основание для адиабатического анализа их свойств. Анализ позволил определить эффективные значения квадрупольных моментов Q₀, значения гиромангнитных факторов g_K и g_R, а также знак и величину параметра развязывания b₀.

Аналогичный анализ свойств ротационных состояний полос 3/2⁻ [521], 3/2⁺ [651] и 5/2⁻ [523] был проведен также в нечетно-нейтронных ядрах Gd, Dy и Er. Результаты этого анализа показали, например, резкое увеличение разности |g_K-g_R|, а следовательно, величины |g_K| с ростом числа нейтронов в этих ядрах в случае полос 3/2⁻ [521]. Простая модель "ротатор плюс частица" позволяет очень просто объяснить это поведение. Одночастичный матричный элемент оператора S_Z, связанный с величиной g_K соотношением $g_K = g_S^{eff} \frac{\langle S_Z \rangle}{K}$, очень чувствителен к изменению квадрупольной деформации и, как показывает рис.6, увеличивается от значения 0,2 до 0,3 при увеличении β₂₀ от 0,20 до 0,32. Именно в этих

пределах изменяется квадрупольная деформация рассмотренных нечетно-нейтронных ядер с увеличением N от 89 до 97.

В случае сильного кориолисова смешивания ротационных полос значения приведенных вероятностей M1- и E2-переходов необходимо вычислять в рамках неадиабатической вращательной модели. Если в случае внутриволосных E2-переходов результаты расчетов в рамках НВМ относительно слабо (≤10-15%) отличаются от адиабатических оценок при выборе значения Q₀ - свободного параметра модели, то для вероятности внутриволосного M1-перехода результаты адиабатического и неадиабатического подходов могут существенно различаться из-за отличия параметров g_K и g_K^{неад} или g_R и g_R^{неад}.

Анализ вероятностей межволосных E2- и M1-переходов проводится в рамках подхода, объединяющего неадиабатическую вращательную модель и квазичастично-фононную модель. Многочисленные расчеты приведенных вероятностей межволосных E2-переходов, проведенные нами и другими авторами для нечетных ядер в рамках неадиабатической вращательной модели, показали, что во многих случаях эта модель плохо описывает их значения. В ряде работ указывалось на необходимость учета вибрационных компонентов при вычислении матричных элементов E2 (|ΔK|=2)-переходов в нечетных деформированных ядрах.

Приведенную вероятность E2-перехода в рамках используемого нами подхода, учитывающего одновременно кориолисово и квазичастично-фононное взаимодействия, можно записать:

$$W(E2) = |\Sigma M_{\alpha}(E2, \Delta K=0) + \Sigma M_{\beta}(E2, \Delta K=0) + \Sigma M(E2, |\Delta K|=1) + \Sigma M_{\gamma}(E2, |\Delta K|=2)|^2$$

Часть полного матричного элемента Σ M_α, пропорциональная квадрупольному моменту Q₀, соответствует переходу без изменения ρ (≡K^π[N_n A]), часть Σ M_β соответствует переходам с изменением ρ. Величиной Σ M(E2, |ΔK|=1) можно пренебрегать, поскольку ее вклад значительно мал по сравнению с вкладом от других слагаемых в этой формуле. Анализ

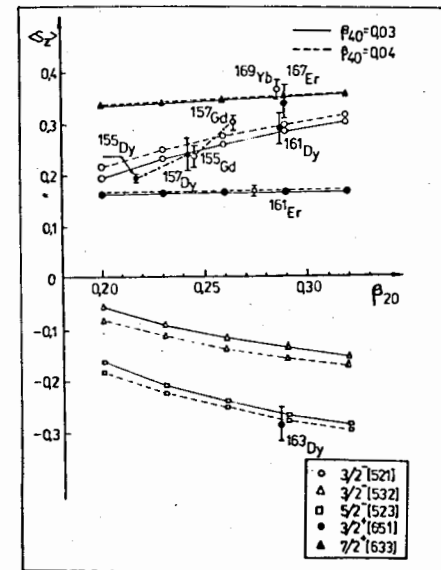


Рис.6

показал также, что в некоторых случаях недиагональная часть полного матричного элемента ΣM_{β} , величина которой зависит от примесей бета-вибраций, может стать сравнимой с величинами ΣM_{α} и ΣM_{γ} . Таким образом, наряду с кориолисовым взаимодействием, приводящим к значительному смешиванию компонентов с различными K , на величины самих компонентов с $\Delta K = 0$ и $|\Delta K| = 2$ сильное влияние оказывают небольшие примеси β - и γ -вибраций, соответственно. Для примера на рис. 7 проводится сравнение экспериментальных и теоретических величин E2-переходов $5/2^- 5/2^- [512] \rightarrow I_{\frac{1}{2}}^{\pi} 1/2^- [521]$ в ядрах иттербия с $A=169-173$. Видно, что в рамках модели, являющейся синтезом неадиабатической вращательной модели и квазичастично-фононной модели, удается объяснить поведение вероятностей E2-переходов этого типа для различных значений спина конечного состояния. Из рис. 7 видно также, что обычная НВМ не способна объяснить эксперимент.

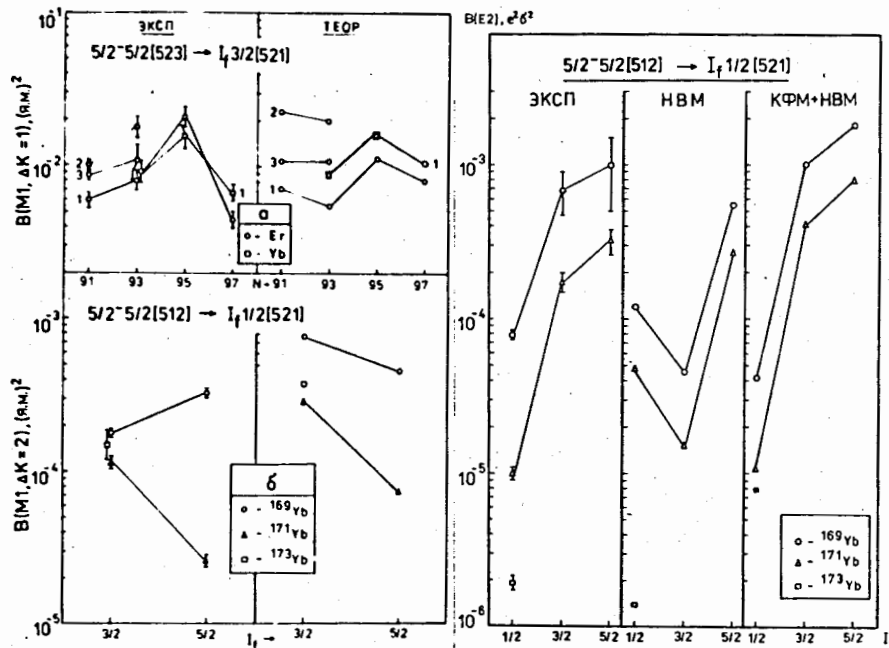


Рис. 7

Рис. 8

Приведенную вероятность M1-межполосного перехода в рамках модели, учитывающей кориолисово смешивание, можно записать:

$$B(M1) = |\Sigma M(M1, \Delta K=0) + \Sigma M(M1, |\Delta K|=1)|^2.$$

Здесь $\Sigma M(M1, \Delta K=0)$ - сумма вкладов диагональных компонентов, зависящих от матричного элемента оператора \hat{s}_z , и $\Sigma M(M1, |\Delta K|=1)$ - сумма

вкладов, зависящая от матричных элементов операторов $\langle j^+ \rangle$ и $\langle S^+ \rangle$.

Наши расчеты показали, что использование матричных элементов операторов \hat{s}_z и \hat{s}_+ , вычисленных с учетом квазичастично-фононного взаимодействия в рамках тех же приближений, что и матричные элементы оператора j^+ (т.е. без учета 1^+ возбуждений остова), не позволяют добиться хорошего описания M1-переходов и магнитных моментов. При вычислении матричных элементов спиновых операторов мы использовали модель, развитую Н.И.Пятовым.

Для примера на рис. 8 проводится сравнение экспериментальных и теоретических величин M1-переходов $5/2^- 5/2^- [523] \rightarrow I_{\frac{1}{2}}^{\pi} 3/2^- [521]$ в нечетных ядрах эрбия и иттербия (а), и K-запрещенных M1-переходов $5/2^- 5/2^- [512] \rightarrow I_{\frac{1}{2}}^{\pi} 1/2^- [521]$ в ядрах иттербия с $A=169-173$ (б). В верхней части рис. 8: 1- $I_{\frac{1}{2}}^{\pi}=3/2^-$, 2- $I_{\frac{1}{2}}^{\pi}=5/2^-$, 3- $I_{\frac{1}{2}}^{\pi}=7/2^-$. Видно, что используемый нами подход позволяет хорошо описать поведение не только разрешенных, но и K-запрещенных M1-переходов.

В главе 5 описывается также методика вычислений коэффициентов смешивания мультипольностей δ межполосных (M1+E2)-переходов. Полные матричные элементы M1- и E2-компонентов этих переходов вычислялись в рамках того же подхода, что и соответствующие вероятности переходов (см. выше). Как показали конкретные расчеты, подход, основанный на синтезе НВМ и КФМ, позволяет правильно описать как величину, так и знак коэффициентов δ (рис. 9).

Уже в первых работах по изучению влияния деталей ядерной структуры на вероятности E1-переходов в нечетных ядрах редкоземельных элементов отмечалось, что для отражения экспериментальных данных в теоретических расчетах необходимо учитывать спаривательное взаимодействие, неадиабатические эффекты, обусловленные кориолисовым смешиванием, и квазичастично-фононное взаимодействие. Учет первых двух эффектов приводит к значительному прогрессу в описании поведения наблюдаемых E1-переходов. В частности, это показал наш анализ величин вероятностей E1-переходов типа

$$5/2^+ [642] \leftrightarrow 3/2^- [521],$$

$$5/2^+ [642] \leftrightarrow 5/2^- [523] \text{ и}$$

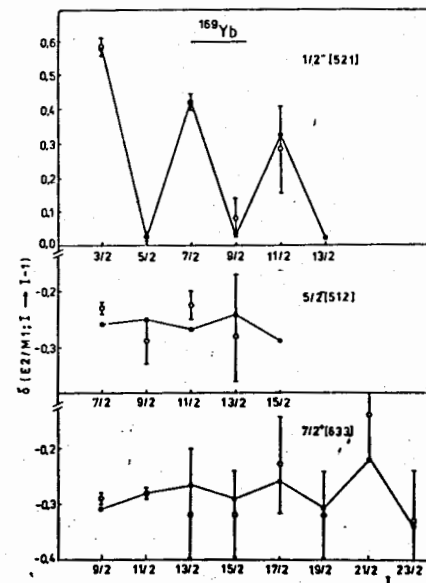


Рис. 9.

$5/2^- [512] \leftrightarrow 7/2^+ [633]$ в нечетно-нейтронных деформированных ядрах, а также анализ вероятностей переходов типа $7/2^- [523] \leftrightarrow 7/2^+ [404]$ в ядрах тулия. Однако в отдельных случаях (в области $A \sim 150$) расхождения могут достигать двух порядков и более. Причину этого предполагалось отыскать при рассмотрении эффекта, связанного с появлением примесей из-за коллективных возбуждений отрицательной четности в четно-четном остове ядра. Источником подобных примесей могут являться два коллективных эффекта: гигантский дипольный резонанс и низколежащие вибрационные возбуждения остова, генерируемые октупольными силами. В наших расчетах было учтено влияние обоих эффектов. Включение изовекторных дипольных сил позволило правильно учесть влияние "хвоста" дипольного гигантского резонанса. Влияние

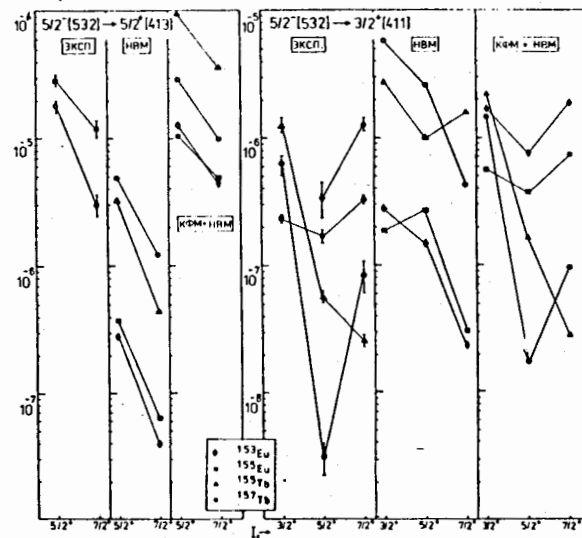


Рис. 10

указанных остаточных взаимодействий на вероятности E1-переходов мы проанализировали на примере $\Delta K=0$ и $|\Delta K|=1$ переходов типа $5/2^- [532] \leftrightarrow 5/2^+ [413]$ и $5/2^- [532] \leftrightarrow 3/2^+ [411]$ в нечетных ядрах Fm, Eu и Tb в области $151 \leq A \leq 161$. Расчеты проводились в рамках неадиабатической вращательной модели без учета и с учетом квазиэластично-фононного взаимодействия (рис. 10).

Анализ результатов расчетов и сопоставление с экспериментом позволили нам сделать следующие выводы относительно поведения вероятностей E1-переходов:

- обычная неадиабатическая модель не в состоянии объяснить поведение приведенных вероятностей в области ядер с $A \sim 150$;
- включение дипольных сил и учет влияния октупольных вибрационных примесей позволяет значительно улучшить описание приведенных вероятностей E1-переходов;
- обнаружен эффект усиления матричных элементов E1-переходов типа $\Delta K=0$, достигающий порядка и более, и слабое изменение матричных элементов с $|\Delta K|=1$ при включении дипольных сил и учете октупольных вибраций остова в области ядер с $A \sim 150$.

Основываясь на этих заключениях, можно объяснить разницу в поведении E1-переходов с $\Delta K=0$ и $|\Delta K|=1$.

1. В переходах с $\Delta K=0$ имеется лидирующий компонент и примеси, возникающие в начальном и конечном состояниях в результате кориолисова смешивания. Последние дают незначительный вклад в вероятности этих переходов.
2. В переходах с $|\Delta K|=1$ за счет усиления МЭ компонентов с $\Delta K=0$ наблюдается сложная картина, когда результирующий матричный элемент определяется несколькими членами приблизительно одного порядка величины, причем, вообще говоря, с разными знаками. Это объясняет частые случаи аномальной задержки E1($|\Delta K|=1$)-переходов. Можно сказать, что взаимодействие Кориолиса дает возможность проявиться в случае E1($|\Delta K|=1$)-переходов вкладом от примесных компонентов с $\Delta K=0$, имеющим более коллективный характер в этой области нечетных ядер.

Необходимо отметить, что рассмотренные $\Delta K=0$ и $|\Delta K|=1$ E1-переходы типа $5/2^- [532] \leftrightarrow 5/2^+ [413]$ и $5/2^- [532] \leftrightarrow 3/2^+ [411]$, соответственно, имеют общие вклады в полные матричные элементы и воспроизводятся одинаково хорошо для переходов с разными значениями спинов начального и конечного состояний. Это может говорить также о достаточности учета остаточных взаимодействий трех рассмотренных типов при расчетах приведенных вероятностей E1-переходов в нечетных деформированных ядрах редкоземельных элементов.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Аликов Б.А., Калинин В.Г., Кузнецов В.В., Лизурей Г.И., Стегайлов В.И., Муминов Т.М., Салимбаев У.С., Усманов Р.Р., Андрейчев В., Желев Ж., Цой Е.Г. Времена жизни нижних возбужденных состояний ^{157}Dy и ^{157}Er . / ОИЯИ, Д6-11574, Дубна, 1978, 3с.
2. Аликов Б.А., Марупов Н.З., Муминов К.М., Муминов Т.М., Усманов Р.Р., Салимбаев У.С., Войцеховска А., Калинин В.Г., Кузнецов В.В., Стегайлов В.И., Андрейчев В., Лизурей Г.И. Времена жизни нижних возбужденных состояний ^{157}Ho и ^{157}Er . / ОИЯИ, Р6-11655, Дубна, 1978, 6с. / Nucleonika, 1979. V.24. P.1139-1144.
3. Аликов Б.А., Андрейчев В., Кузнецов В.В., Лизурей Г.И., Марупов Н.З., Муминов К.М., Муминов Т.М., Салимбаев У.С., Усманов Р.Р., Цой Е.Г. Измерение времен жизни возбужденных состояний ^{159}Er и ^{164}Er . / ОИЯИ, Р6-12220, Дубна, 1979, 13с. // Nucleonika, 1982. V.27. P.353-364.

4. Аликов Б.А., Андрейчев В., Громов К.Я., Исламов Т.А., Коровин Г.Ю., Кузнецов В.В., Лизурей Г.И., Муминов К.М., Муминов Т.М., Салихбаев У.С., Усманов Р.Р., Цой Е.Г., Яхим М. О схеме распада ^{165}Lu . // В сб.: Тезисы докладов XXIX совещания по ядерной спектроскопии. Л.: Наука, 1979, С.112.
5. Аликов Б.А., Ваврышук Я., Ион-Михай Р., Марупов Н.З., Муминов К.М., Муминов Т.М., Салихбаев У.С., Усманов Р.Р., Халикулов А.Б. Времена жизни возбужденных состояний ^{167}Yb . / ОИЯИ, Р6-12944, Дубна, 1980, 8с.
6. Аликов Б.А., Адам И., Андрейчев В., Бабаджанов Р.Д., Гонс З., Коровин Г.Ю., Кузнецов В.В., Лизурей Г.И., Марупов Н.З., Муминов К.М., Муминов Т.М., Салихбаев У.С., Усманов Р.Р. Результаты исследований периодов полураспада возбужденных состояний ^{165}Yb . / ОИЯИ, Р6-80-207, Дубна, 1980, 6с.
7. Аликов Б.А., Громов К.Я., Муминов К.М., Муминов Т.М., Усманов Р.Р. Конфигурационное смешивание состояний подоболочки $1_{13/2}$ нечетно-нейтронных изотопов с $N \geq 89$. // В сб.: Тезисы докладов XXX совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1980, С.120.
8. Аликов Б.А., Базнат М.И., Громов К.Я., Муминов Т.М., Усманов Р.Р. Анализ свойств нечетных ядер иттербия с $A = 163, 165, 167$. // В сб.: Тезисы докладов XXX совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1980, С.121.
9. Аликов Б.А., Ваврышук Я., Муминов Т.М., Пятов Н.И., Хазратов Т., Холбаев И. Неадиабатические эффекты в ядре ^{155}Gd . // В сб.: Тезисы докладов XXXI совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1981, С.116.
10. Аликов Б.А., Ваврышук Я., Лизурей Г.И., Марупов Н.З., Муминов К.М., Муминов Т.М., Салихбаев У.С., Усманов Р.Р. Времена жизни нижних нижних возбужденных состояний $^{169, 165, 167}\text{Tm}$. / ОИЯИ, Р6-80-364, Дубна, 1980, 8с. / Folia Societatis scientiarum Lublinensis, Vol.24, Mat.-Fiz.-Chem., 1982, P.21-29.
11. Alikov B.A., Kholbaev I., Lizurej H.I., Tsoy E.G., Wawryszchuk J. Level structure of the 89-neutron Nucleus ^{159}Gd : 1. Levels and Gamma-transitions in ^{159}Gd excited states in Decay of ^{159}Tb . / JINR, E6-82-38, Dubna, 1982, p.24 // Nucl.Phys., 1982.V.A383. P.333-354.
12. Аликов Б.А., Муминов Т.М. Вероятности электромагнитных переходов в нечетных ядрах редкоземельной области с $151 \leq A \leq 191$. // В сб.: Тезисы Всесоюзного семинара "Времена жизни возбужденных состояний ядер" Л.: Наука, 1982, 2с.
13. Аликов Б.А., Ваврышук Я., Зубер К., Муминов Т.М., Пашкевич В.В., Цой Е.Г. Структура уровней ядра ^{153}Gd . Анализ равновесных значений параметров деформаций основного и возбужденных состояний. / ОИЯИ, 6-83-410, Дубна, 1983, 9с.
14. Аликов Б.А., Зубер К., Пашкевич В.В., Цой Е.Г. Равновесные деформации одночастичных состояний нечетных ядер редкоземельной области. // Изв.АН СССР, Сер.физ. 1984. Т.48. С.875-890. / ОИЯИ, 4-83-535, Дубна, 1983, 20с.
15. Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Лизурей Г.И., Махмудов И.С., Муминов Т.М., Цой Е.Г., Шаронов И.А. Исследование неротационных состояний изотопов $^{169, 165, 167}\text{Er}$. // В сб.: Тезисы докладов XXXIV совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1984, С.130.
16. Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Лизурей Г.И., Махмудов И.С., Муминов К.М., Муминов Т.М., Цой Е.Г., Шаронов И.А. Исследование неротационных состояний изотопов $^{169, 165, 167}\text{Tm}$. // В сб.: Тезисы докладов XXXIV совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1984, С.131.
17. Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Лизурей Г.И., Махмудов И.С., Муминов Т.М., Халикулов А.Б., Цой Е.Г., Шаронов И.А. Исследование характеристик возбужденных состояний нечетных изотопов эрбия с $A=159-167$. / ОИЯИ, Р6-84-207, Дубна, 1984, 16с.
18. Аликов Б.А., Ваврышук Я., Лизурей Г.И., Муминов Т.М., Холбаев И., Цой Е.Г. Экспериментальное исследование и анализ свойств ядра ^{159}Gd . / ОИЯИ, 6-84-121, Дубна, 1984. 22 с.
19. Адам И., Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Гонусек М., Лизурей Г.И., Муминов Т.М., Муминов К.М., Тураев У.А., Шаронов И.А. Вероятности электромагнитных переходов в нечетных ядрах Tm. / ОИЯИ, 6-84-819, Дубна, 1984, 20 с. // Изв. АН СССР, Сер.физ. 1987. Т.51. С.15-23.
20. Аликов Б.А., Морозов В.А., Муминов Т.М., Усманов Р.Р. Постановка экспериментов по определению времен жизни возбужденных состояний ядер при радиоактивном распаде методом задержанных совпадений. // В сб.: Современные методы ядерной спектроскопии. Л.: Наука, 1984, С.132-163.
21. Адам И., Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Лизурей Г.И., Гонусек М., Махмудов И.С., Муминов Т.М., Муминов К.М., Цой Е.Г., Шаронов И.А. Исследование характеристик возбужденных состояний изотопов $^{169, 165, 167}\text{Tm}$. // Изв.АН СССР, Сер.физ. 1985. Т.49. С.868-883. / ОИЯИ, Р6-84-206, Дубна, 1984, 16с.
22. Аликов Б.А., Андрейчев В., Бадалов Х.Н., Лизурей Г.И., Муминов Т.М., Нестеренко В.О., Шаронов И.А. Исследование электрических межполос-

- ных переходов в нечетных ядрах редкоземельной области элементов. // В сб.: Тезисы докладов XXXV совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1985, С.121-122.
23. Аликов Б.А., Абазов В.И., Бадалов Х.Н., Ганбаатор Н., Калинин В.Г., Ким Ен Мен, Кузнецов В.В., Лизурей Г.И., Муминов Т.М., Стегайлов В.И., Шаронов И.А. Свойства возбужденных состояний ядер Ho с нечетным $A=157-163$. // В сб.: Тезисы докладов XXXV совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1985, С.109-110.
24. Адам И., Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Гонусек М., Лизурей Г.И., Малахов Н.А., Махмудов И.С., Муминов Т.М., Тураев У.А., Шаронов И.А. Анализ вращательных состояний в ядре ^{164}Tm . // В сб.: Тезисы докладов XXXV совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1985, С.115-116.
25. Шаронов И.А., Аликов Б.А., Караджов Д., Квасил Я., Муминов Т.М. Об учете члена отдачи в гамильтониане нечетных деформированных ядер. // Болг. физ. журнал. 1986. Т.13. С.318.
26. Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Громов К.Я., Муминов Т.М., Тураев У.М., Шаронов И.А. Влияние парных корреляций и кориолисова смешивания на $E1$ -переходы в нечетных ядрах с $N=99-103$. // В сб.: Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра. Л.: Наука, 1986. С.125.
27. Шаронов И.А., Аликов Б.А., Громов К.Я., Караджов Д., Квасил Я., Муминов Т.М. Учет кориолисова и квазичастично-фононного взаимодействий при расчете энергий вращательных состояний и вероятностей электрических переходов в нечетных деформированных ядрах. // В сб.: Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра. Л.: Наука, 1986. С.127.
28. Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Ваврышук Я., Муминов Т.М., Нестеренко В.О. Вероятности межполосных $E2$ -переходов в рамках неадиабатической вращательной модели с учетом квазичастично-фононного взаимодействия в нечетных деформированных ядрах. В сб.: Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра. Л.: Наука, 1986. С.127.
29. Аликов Б.А., Баратова М.А., Громов К.Я., Муминов Т.М. Анализ $E2, M1$ -смешивания переходов в нечетно-нейтронных ядрах редкоземельных элементов в рамках неадиабатической вращательной модели. // В сб.: Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра. Л.: Наука, 1987, С.107.
30. Аликов Б.А., Баратова М.А., Громов К.Я., Муминов Т.М. Анализ $E2, M1$ -смешивания переходов в нечетно-протонных ядрах редкоземельных элементов в рамках неадиабатической вращательной модели. // В сб.: Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра. Л.: Наука, 1987, С.109.

31. Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Ганбаатор Н., Звольски И., Калинин В.Г., Ким Ен Мен, Кузнецов В.В., Муминов Т.М., Стегайлов В.И., Шаронов И.А. О некоторых свойствах возбужденных состояний ядер Ho с нечетным $A=157-161$. // В сб.: Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра. Л.: Наука, 1987, С.119.
32. Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Громов К.Я., Муминов Т.М., Шаронов И.А. Анализ $E1$ -переходов в нечетно-нейтронных ядрах редкоземельных элементов. Влияние парных корреляций и кориолисова смешивания состояний на $E1$ -переходы в нечетных ядрах с $N=99-103$. // Изв. АН СССР, Сер. физ. 1987. Т.51. С.1908. / ОИЯИ, Р6-86-126, Дубна, 1986. 16 с.
33. Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Громов К.Я., Зубер К., Муминов Т.М., Тураев У.А., Шаронов И.А. Вероятности $E1$ -переходов, разряжающих изомерное состояние $11/2^- [505]$ в нечетно-нейтронных ядрах с $N \geq 89$. // В сб.: Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра. Л.: Наука, 1987, С.119.
34. Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Лизурей Г.И., Малахов Н.А., Махмудов И.С., Муминов Т.М., Тураев У.А., Халикулов А.Б., Шаронов И.А. Вероятности электромагнитных переходов в нечетных ядрах эрбия с массовым числом $A=159-167$. / ОИЯИ, Р6-86-69, Дубна, 1986, 14с. // Изв. АН СССР, Сер. физ. 1987. Т.51. С.841.
35. Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Ваврышук Я., Нестеренко В.О., Сужков А.В. О роли кориолисова и квазичастично-фононного взаимодействий при описании вероятностей $E1$ -переходов в нечетных изотопах Eu и Tb . / ОИЯИ, Р4-87-917, Дубна, 1987, 26с. // Z.Phys. 1988. V.A331. P.265-275.
36. Адам И., Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Ваврышук Я., Вагнер В., Громов К.Я., Муминов Т.М. Систематика и анализ свойств ядер нечетных изотопов иттербия с $A=163-173$. Неротационные состояния / ОИЯИ, Р4-88-933, Дубна, 1988, 20с.
37. Адам И., Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Ваврышук Я., Вагнер В., Громов К.Я., Муминов Т.М. Систематика и анализ свойств ядер нечетных изотопов иттербия с $A=163-173$. Вращательные состояния. / ОИЯИ, Р4-88-934, Дубна, 1988, 24с.
38. Адам И., Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Ваврышук Я., Громов К.Я., Муминов Т.М., Нестеренко В.О. Систематика и анализ свойств ядер нечетных изотопов иттербия с $A=163-173$. Вероятности внутриволосных ($M1+E2$)-переходов и магнитные моменты состояний. / ОИЯИ, Р4-88-935, Дубна, 1988, 26с.
39. Адам И., Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Ваврышук Я., Громов К.Я., Муминов Т.М., Нестеренко В.О. Систематика и анализ свойств нечетных ядер иттербия с $A=163-173$. Вероятность межполосных γ -переходов. / ОИЯИ, Р4-89-325, Дубна, 1989, 19с.

40. Аликов Б.А., Бадалов Х.Н., Ваврышук Я., Громов К.Я. О роли кориолисова и квазичастично-фононного взаимодействий при описании вероятностей E2-переходов в нечетных ядрах иттербия. // Selected topics in nuclear structure. Contributions. International conference on selected problems in nucleus structure. Dubna, 20-24 June, Д4-89-327, 1989, P.76.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 февраля 1990 года.