

М - 197



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4-82-471

МАЛОВ

Леонард Александрович

**КВАЗИЧАСТИЧНО-ФОНОННАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА
И ОПИСАНИЕ СВОЙСТВ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЯДЕР
В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

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

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

Дубна 1982

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук,
профессор

Г.Ф. Филиппов

Доктор физико-математических наук
профессор

М.Г. Урин

Доктор физико-математических наук
профессор

И.Н. Михайлов

Ведущая организация - Институт ядерных исследований АН СССР, Москва.

Автореферат разослан " 10 " октябрь 1982 г.

Защита диссертации состоится " 11 " ноябрь 1982 г.
на заседании Специализированного совета Д047.01.01 Лаборатории
теоретической физики Объединенного института ядерных исследова-
ний, Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединен-
ного института ядерных исследований.

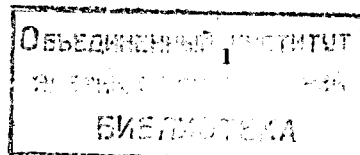
Ученый секретарь Совета

Р.А. Асанов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Теоретическое и экспериментальное исследование деформированных ядер является одним из самых интересных и богатых источников новых сведений о структуре атомных ядер. Сложность изучаемого объекта определяет многообразие и неожиданность его свойств и предъявляет повышенные требования к теории, призванной описывать эти свойства. При этом затрагиваются такие основы теории, как структура одночастичного базиса и остаточных нуклон-нуклонных сил, выделение коллективных степеней свободы, их взаимодействия с квазичастичными возбуждениями. Не случайно, что экспериментальному изучению деформированных ядер уделяется большое внимание. Наиболее интенсивный поиск ведется в тех направлениях, где ожидается обнаружение новых свойств ядер. Это - изучение ядер, удаленных от зоны бета-стабильности, с продвижением в область сверхтяжелых элементов, и исследование свойств все более и более высоких возбужденных состояний ядер. В результате была открыта новая область деформированных ядер, обнаружены специфические свойства быстровращающихся ядер. Появились новые перспективные направления в исследовании нейтронных резонансов. Одним из крупнейших достижений экспериментальной ядерной физики последнего десятилетия является открытие мультипольных гигантских резонансов, что возродило большой интерес к проблеме гигантских резонансов и послужило стимулом для развития микроскопической теории этого явления. Отмеченные тенденции свидетельствуют о становлении нового направления в ядерной физике - изучении ядер при средних и высоких энергиях возбуждения для получения качественно новой информации о структуре ядра. При этом обнаруживаются такие явления, природа которых остается пока



до конца невыясненной. Прежде всего, это – усложнение структуры ядерных состояний с энергией возбуждения, обнаружение разного рода подструктур в поведении нейтронных и гигантских резонансов и в плотности уровней, корреляций между нейтронными и радиационными ширинами, особенности глубоко связанных дырочных состояний и коллективных состояний ядер. Перечисленные здесь и другие свойства деформированных ядер проявляются при различных энергиях возбуждения, они довольно разнообразны, и для их понимания требуется глубокое проникновение в физику внутриядерных процессов.

В настоящее время существует ряд моделей, описывающих отдельные свойства деформированных ядер при средних и высоких энергиях возбуждения. Однако эти модели – в основном, феноменологические или основаны на статистическом подходе, они не вскрывают причин, порождающих те или иные свойства ядер в этой области энергий возбуждения и не могут описать особенностей, присущих конкретным ядрам, их предсказательная сила ограничена, в некоторых случаях модели исходят из противоположных физических предпосылок и противоречат одна другой. С другой стороны, традиционные методы, используемые и оправдавшие себя при микроскопическом описании низколежащих состояний ядер, нельзя автоматически полностью перенести на область средних и высоких энергий возбуждения. Появилась необходимость разработки единого теоретического подхода, дающего на микроскопической основе целостное описание наиболее важных свойств деформированных ядер в широком интервале энергий возбуждения. Определяющее значение в осуществлении этого сыграли математические методы решения квантовой задачи многих тел, развитые Н.Н.Боголюбовым, а сам подход в значительной степени явился обобщением и развитием сверхтекучей модели атомного ядра В.Г.Соловьева.

Целью работы является дальнейшее развитие микроскопического подхода в теории ядра и построение на его основе модели для описания структуры деформированных ядер в широком интервале энергий возбуждения, выявление основных причин и закономерностей усложнения структуры ядерных состояний с увеличением энергии возбуждения, приложение развитой модели к исследованию конкретных свойств деформированных ядер при низких, средних и высоких энергиях возбуждения.

Научная новизна и практическая ценность

Новым достижением является создание модели атомного ядра, описывающей на единой физической основе структуру тяжелых деформированных ядер в широком интервале энергий возбуждения, разработка нестатистических методов решения задач для ядерных систем с большой плотностью уровней.

Впервые на основе микроскопического подхода единым образом описан широкий круг экспериментальных данных для редкоземельных ядер и актиноидов при низких, средних и высоких энергиях возбуждения, выяснена важная роль взаимодействия квазичастиц с фононами в усложнении структуры ядерных состояний по мере возрастания энергии возбуждения, установлены общие закономерности этого усложнения и их проявление в различных физических свойствах и характеристиках ядер (нейтронные силовые функции, мультипольные гигантские резонансы, плотность возбужденных состояний).

Развитая в диссертации квазичастично-фононная модель достаточно проста в практическом применении. Это обеспечило ей широкие возможности для анализа экспериментальных данных, позволило дать качественные и количественные предсказания для последующих экспериментов при исследовании широкого класса физических характеристик деформированных ядер (спектроскопия низколежащих состояний, плотность уровней, спектроскопические факторы, структура гигантских резонансов и др.). Модель получила признание и была использована и развита другими авторами для изучения иных ядерных процессов, в ряде случаев она послужила основой для исследования структуры деформированных ядер в различных ядерных реакциях.

Методы, развитые при построении квазичастично-фононной модели деформированных ядер, были использованы при изучении сферических ядер.

Большую практическую ценность и универсальность показал разработанный в диссертации метод силовых функций, позволивший сократить время численных расчетов на ЭВМ в 10^3 – 10^4 раз и тем самым обеспечивший практическое применение развитой модели к ядрам и различным ядерным процессам.

Основные результаты диссертации, которые выдвигаются для защиты, можно сформулировать в виде следующих положений:

1. Построена квазичастично-фононная модель (КФМ) для деформированных ядер, которая позволяет рассчитать распределение малоквазичастичных компонент волновых функций по уровням сложных ядер, в результате чего удастся единым образом описать наиболее важные процессы, связанные с ними, и свойства этих ядер в широком интервале энергий возбуждения.

2. Разработан метод силовых функций, применимый для исследования на микроскопическом уровне квантовомеханических систем с большой плотностью состояний и позволяющий непосредственно вычислять усредненные характеристики системы без детального расчета каждого состояния. Получена оценка точности метода и сформулированы критерии, позволяющие использовать его с минимальной погрешностью. Метод отличается

простотой и универсальностью, он применяется для расчета на ЭВМ многих важных физических величин (сечений, вероятностей переходов и т.д.), изучение которых при использовании стандартных схем расчета потребовало бы увеличения времени расчетов на несколько порядков.

3. Получено правильное описание свойств низколежащих неротационных состояний деформированных ядер ($E \leq I+1,5 \text{ МэВ}$), что позволило определить и зафиксировать основные параметры модельного гамильтониана и создало, таким образом, основу для практического приложения КММ ко всем исследуемым в диссертации физическим проблемам. Установлена слабая зависимость указанных свойств ядер от изовекторной компоненты остаточных сил и от влияния сложных конфигураций. Обоснованием применимости микроскопического подхода в низкоэнергетической области является подтверждение обширного круга предсказаний относительно свойств низколежащих состояний ядер трансурановой области, полученное в более поздних экспериментах.

4. Показана важная роль коллективных возбуждений в правильном описании плотности уровней деформированных ядер, абсолютную величину которой и детали зависимости от энергии, спина и четности удалось объяснить без использования свободных параметров на основе разработанного в рамках КММ нестатистического метода. Хорошее описание экспериментальных данных по плотности уровней при энергиях, близких к энергии связи нейтрона V_N , для всех известных деформированных ядер свидетельствует о полноте фононного пространства и пространства физических состояний и тем самым о возможности исследований в рамках КММ свойств возбужденных состояний ядер в указанной области энергий.

5. Установлено, что основной причиной наблюдающейся на эксперименте фрагментации простых состояний по ядерным уровням при средних и высоких энергиях возбуждения является квазичастично-фононное взаимодействие. Показано, что распределение малоквазичастичных компонент по ядерным уровням имеет сложный характер и не подчиняется простому статистическому описанию с помощью функций типа Гаусса. Разработан эффективный метод расчета фрагментации компонент волновой функции произвольной сложности, что позволяет изучать многие ядерные процессы и свойства деформированных ядер в широком интервале энергий возбуждения. Установлены общие закономерности фрагментации одноквазичастичных компонент волновой функции в нечетных ядрах.

6. Рассчитанные на основе предложенного в диссертации принципиально нового метода s - и p -нейтронные силовые функции находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными для большого числа исследованных ядер. Сделаны предсказания относительно величин d -нейтронных силовых функций. Однозначный характер результатов расче-

тов является серьезным аргументом в пользу применимости КММ при средних энергиях возбуждения ($I+1,5 \text{ МэВ} \leq E \leq V_N$).

7. Проведены первые систематические микроскопические исследования свойств электрических мультипольных гигантских резонансов (МГР) в деформированных ядрах. Рассчитано положение центроидов резонансов, ширин, вклада в правила сумм, проанализированы структурные особенности сечения фотопоглощения. Объяснены экспериментально обнаруженные особенности низколежащей ветви октупольного резонанса. Предсказаны возможные энергетические области существования МГР $s\lambda \leq 4$. Показано, что область локализации гигантских резонансов в деформированных ядрах определяется, в основном, распределением силы состояний в однофононном приближении, влияние высших конфигураций на ширину резонанса оказывается незначительным. Результаты исследований МГР свидетельствуют о применимости КММ при высоких энергиях возбуждения.

Апробация диссертации

Основные материалы диссертации неоднократно докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики ОИЯИ. Ряд результатов диссертации был представлен и докладывался на 21, 22, 24, 25, 28-32 Всесоюзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, на Международной конференции по изучению структуры ядра с помощью нейтронов (Будапешт-1972), Международной конференции по ядерной физике (Мюнхен-1973), II Международном симпозиуме по γ -спектроскопии при захвате нейтронов (Петтен, Голландия-1974), Международной школе по нейтронной физике (Алушта-1974), Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра (Дубна-1976), Международной конференции по электромагнитным взаимодействиям (Майнц, ФРГ-1979), Международной конференции по экстремальным свойствам ядер (Дрезден-1980), Международной конференции по ядерной физике (Беркли-1980).

Публикации

По результатам диссертации опубликовано 35 статей. Существенная часть результатов вошла в обзоры ^{9,13,14,25/}.

Объем работы

Диссертация состоит из введения, шести глав основного содержания и заключения, она содержит 280 страниц машинописного текста, 40 рисунков, 27 таблиц и список цитируемой литературы из 252 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко изложена постановка физической задачи и дано обоснование актуальности и важности исследуемых проблем.

В первой, вводной, главе диссертации излагаются основные положения микроскопического подхода в теории ядра, основанного на выборе эффективных сил. В этом подходе взаимодействие между нуклонами разделяют на две части: среднее поле и остаточные силы. Определен модельный гамильтониан ядра и дана характеристика отдельных частей его составляющих: потенциала Вудса-Саксона, описывающего среднее поле, парных и мультипольных остаточных сил. Наибольший успех в рамках данного подхода, реализованного В.Г.Соловьевым в виде сверхтекучей модели, получен в описании деформированных ядер при низких энергиях возбуждения.

Расширение области исследований на средние и высокие энергии возбуждения ядер привело к появлению качественно новых физических задач и потребовало для их решения дальнейшего развития микроскопического подхода. Это было проделано и завершилось созданием квазичастично-фононной модели деформированных ядер, которая вместе с физическими приложениями обсуждается в последующих главах диссертации.

Вторая глава диссертации посвящена построению квазичастично-фононной модели деформированных ядер. Решается проблема получения целостного микроскопического описания различных свойств ядер в значительно расширенном интервале энергий возбуждения без введения новых подгоночных параметров. Для решения нового класса задач развиты качественно новые математические методы, адекватные изменившимся условиям и отличающиеся от используемых при описании низколежащих состояний ядер. Главная особенность КММ состоит в том, что в ее рамках можно с хорошей точностью определить с усреднением по некоторому энергетическому интервалу физически наиболее важные компоненты волновых функций состояний (в первую очередь малоквазичастичные). Задача описания положения и структуры каждого из высоковозбужденных состояний в отдельности не ставится.

В § 2.1 проводится усложнение модельного гамильтониана и волновых функций состояний ядра, выводятся уравнения КММ для описания возбужденных неротационных состояний нечетных деформированных ядер, которые представляют собой алгебраическую систему чрезвычайно большой размерности. Обобщается формализм фононного представления для описания частично-дырочных возбуждений различной структуры с произвольной величиной проекции K углового момента на ось симметрии ядра и формулируются правила нахождения констант мультипольных сил.

Сложность уравнений КММ потребовала построения приближенных методов их решения, часть из которых рассмотрена в § 2.2. Разработанные методы достаточно просты и обеспечивают приемлемую точность при вы-

числении энергий и больших по величине компонент волновых функций состояний (что продемонстрировано сравнением с точными решениями), но плохо описывают малые компоненты волновых функций.

Указанного недостатка удается избежать, исследуя свойства ядерных состояний средних и высоких энергий возбуждения с использованием формализма силовых функций. В § 2.3 и § 2.4 дается описание разработанного в диссертации варианта метода силовых функций, позволяющего определять фрагментацию произвольных компонент волновых функций и различных физических характеристик деформированных ядер без детального расчета каждого состояния. Для этого проводится усреднение указанных величин с весовой функцией Лоренца. Используя общие свойства однородной системы линейных алгебраических уравнений и аналитические свойства весовой функции и секулярного уравнения, удается заменить решение сложной задачи на собственные значения вычислением функции комплексного аргумента, просто связанного с энергией возбуждения и интервалом усреднения. Анализируется зависимость результатов расчета от вида весовых функций, интервала усреднения и дается оценка погрешности метода.

Крупным достоинством метода силовых функций, делаемим его важным инструментом теоретических исследований, является возможность непосредственно вычислять усредненные физические величины (сечения, вероятности переходов и т.д.) и рассчитывать их фрагментацию в произвольном энергетическом интервале с любой степенью точности. Это продемонстрировано на примере вероятности $E \lambda$ -переходов. В § 2.5 приводятся выражения для этой величины, полученные с различной степенью приближения. При рассмотрении γ -переходов между состояниями, расположенными в области ядерного спектра с большой плотностью уровней, метод силовых функций был обобщен с проведением усреднения при двух энергиях возбуждения (начальной и конечной).

В § 2.6 обсуждается в общем виде вопрос о пределах применимости КММ и дается оценка точности полученных в ней результатов. Точность модели в значительной степени определяется точностью описания среднего поля и пределом применимости этого понятия, а также приближенным характером остаточных сил. С увеличением энергии возбуждения неопределенность результатов увеличивается. Так, при описании энергий состояний погрешность растет от 100-200 кэВ (для низколежащих состояний) до 400-500 кэВ (для состояний при средних и высоких энергиях возбуждения). Энергетический предел применимости модели зависит от вида исследуемого процесса и не превышает 30-40 МэВ. Существенные ограничения на точность описания сложных компонент волновой функции накладывает требование соблюдения принципа Паули.

В последующих главах диссертации рассматривается приложение КМ к решению некоторых из наиболее важных проблем теории деформированных ядер. Используя единый набор параметров, удалось описать свойства ядер в широком интервале энергий возбуждения от нуля до 30–40 МэВ. Применимость модели подтверждается при сравнении с экспериментальными данными.

В третьей главе модель применяется к описанию низколежащих неротационных состояний деформированных ядер, что является одной из важных задач ядерной физики, и ее решение служит проверкой применимости микроскопического подхода в теории атомных ядер.

Большим преимуществом микроскопического подхода перед другими является то, что он позволяет не только описать энергию и структуру состояний, известных из эксперимента, но и сделать предсказания для экспериментально мало исследованных ядер. Особенно заметно это преимущество проявилось при изучении деформированных ядер трансурановой области, экспериментальные данные для которых стали появляться в большем количестве лишь в последние годы. Они с хорошей точностью подтвердили более ранние расчеты. Кроме непосредственного интереса, связанного с воспроизведением экспериментальных данных, исследование низколежащих состояний позволило определить характеристики среднего поля и фиксировать параметры остаточных сил. Эти величины приведены в § 3.1 для различных групп трансурановых и редкоземельных ядер. Тем самым исследование низколежащих состояний ядер обеспечило прочный фундамент для изучения в рамках КМ их свойств в широкой области энергий возбуждений.

В § 3.2 представлены результаты систематических расчетов низколежащих неротационных состояний в четно-четных ядрах области актинидов. Исследовано около 30 ядер и получен большой объем информации об их уровнях. В качестве примера анализируются спектры уровней ^{230}Th , ^{238}Pu и ^{252}Cf . Расчеты дают энергию, структуру, вероятности γ -распада вибрационных квадрупольных и октупольных состояний ядер, описывают и предсказывают большое число двухквaziчастичных состояний. В целом, полученные результаты для четно-четных ядер позволяют сделать вывод о хорошем описании свойств низколежащих состояний в приближении случайной фазы. Их структура оказывается сравнительно простой: в большинстве случаев они являются двухквaziчастичными или однофононными возбуждениями.

В § 3.3 обсуждаются результаты исследований низколежащих состояний нечетных ядер трансурановой области. Рассчитаны спектры около 40 нечетных по N или Z ядер. Отличительной особенностью расчетов нечетных ядер является отсутствие свободных параметров, а поэтому их однозначность. Полученные результаты позволяют с большей определен-

ностью анализировать экспериментальные данные, что продемонстрировано, например, для изотопов ^{235}U , ^{249}Cm , ^{251}Cf и ^{251}Es . Эти исследования указывают на важность учета взаимодействия квазичастиц с фононами, особенно при увеличении энергии возбуждения. Нижайшие состояния при этом по структуре своей остаются близкими к одноквaziчастичным (85–95% силы концентрируется на одном уровне), а примесь сложных конфигураций типа квазичастица плюс два фонона в нормировке волновой функции не превышает 1–2%. Этот результат подтверждает положение о малости недиагональных частей матрицы плотности, лежащее в основе микроскопического подхода.

Проведенные исследования показали, что изовекторные компоненты остаточных сил и более сложные конфигурации, в основном, слабо влияют на свойства низколежащих состояний четно-четных и нечетных деформированных ядер.

Четвертая глава диссертации посвящена построению микроскопического метода расчета плотности ядерных состояний и применению его для исследования деформированных ядер редкоземельной области и актинидов.

В § 4.1 излагаются основные положения этого метода, позволяющего учесть квазичастичные, вибрационные и ротационные моды ядерных возбуждений. В расчетах используется гамильтониан КМ с добавлением ротационной энергии. Учитываемые в гамильтониане остаточные дальнедействующие мультипольные силы генерируют вибрационные однофононные состояния соответствующей мультипольности. Пренебрегая взаимодействием квазичастиц с фононами и фононов между собой, удается построить комбинаторным способом более сложные состояния, а затем определить плотность уровней ρ с заданными квантовыми характеристиками $I^{\pi}K$ (момент, четность, проекция момента на ось симметрии ядра). Поскольку среди фононов имеются коллективные, описывающие колебания ядерной поверхности, то данный метод автоматически учитывает влияние на плотность вибрационного движения. Достоинством метода является его простота и свобода от приближений сугубо математического характера, связь с описанием низколежащих состояний ядер, отсутствие свободных параметров, учет влияния коллективных ядерных движений.

В § 4.2 дается физическое обоснование предположениям, которые лежат в основе микроскопического метода расчета плотности ядерных уровней (независимость использованных в КМ параметров и корреляционной функции от энергии, пренебрежение смешиванием по K и др.). Все это вместе с другими источниками погрешностей ограничивает точность расчета плотности уровней в деформированных ядрах фактором $1,5 \pm 2$ и определяет область применимости данного метода по энергии возбуждения $E \leq 7+9$ МэВ. При более высоких энергиях точность метода уменьшается

(главным образом, из-за нарушения принципа Паули), значительно усложняются расчеты (из-за увеличения размерности пространства состояний), а получаемые результаты сближаются со статистическими.

В § 4.3 предложенный метод использован для расчета плотности уровней при энергии связи нейтрона, проанализирована зависимость плотности от массового числа A . Экспериментальные плотности уровней при энергии связи нейтрона B_N для большинства ядер хорошо известны. Поэтому сопоставление их с расчетными для большого (~ 60) числа ядер служит серьезной проверкой предложенного в § 4.1 метода. Эта проверка тем более однозначна, что исследуемая величина обнаруживает сильную немонокотную зависимость от A , а в расчетах нет свободных параметров. Проведенное сравнение показывает, что теоретические и экспериментальные значения плотности при B_N согласуются в целом хорошо (в большинстве случаев разница не превышает 50%) и лучше, чем в расчетах по статистической модели.

В § 4.4 исследована зависимость плотности уровней от энергии возбуждения. При высоких энергиях поведение плотности, рассчитанной в рамках микроскопического метода, согласуется с результатами статистических расчетов. Экспериментальные результаты для энергетической зависимости плотности уровней в изотопах урана и в ^{230}Th очень хорошо согласуются с рассчитанными по КФМ. В некоторых случаях микроскопические расчеты указывают на существование заметных флуктуаций в зависимости $\rho(E)$, имеющих оболочечный характер. Эти флуктуации, однако, слабее, чем в сферических ядрах.

Экспериментальные сложности пока не позволяют сделать заключения о характере спиновой зависимости плотности уровней, хотя и не исключают существования таковой. Это усиливает интерес к данной проблеме. Рассчитанная в § 4.5 зависимость $\rho(I)$ и $\rho(K)$ при больших энергиях похожа на гладкую статистическую, а при малых - в ее поведении появляются заметные нерегулярности. Показано, что в деформированных ядрах плотность состояний должна слабо зависеть от их четности.

Основная отличительная черта рассматриваемого метода - возможность учесть с его помощью вклады коллективных ядерных движений в плотность состояний. Эти вопросы были впервые исследованы в КФМ и обсуждаются в § 4.6. Показано, что учет вибрационных степеней свободы приводит к увеличению плотности для деформированных ядер при энергии связи нейтрона в 1,5-2 раза. Для опингов $I > 1/2$ плотность состояний дополнительно увеличивается за счет вращения. Для малых спинов это увеличение в 1,5-3 раза, для более высоких ($I \sim 7$) при учете вращения плотность состояний возрастает в 5-7 раз (^{177}Lu , ^{181}Td). Кол-

лективные движения оказывают также заметное влияние на зависимость плотности от спина и энергии возбуждения: учет их приводит к сглаживанию флуктуаций.

В пятой главе диссертации КФМ применяется для исследования некоторых свойств ядерных состояний при средних энергиях возбуждения в интервале от 1+1,5 МэВ до B_N . Основное внимание уделяется изучению фрагментации малоквазичастичных компонент волновых функций и физических следствиям этого процесса. Важным инструментом изучения фрагментации одночастичных или одноквазичастичных состояний являются реакции однонуклонных передач.

Теоретическое изучение усложнения структуры состояний с ростом энергии возбуждения и определение закономерностей фрагментации одночастичных состояний проведено на основе КФМ. В § 5.1 представлены результаты расчетов для большого числа дробных и частичных состояний в нечетных по N или Z деформированных ядрах. Здесь оказался эффективным метод силовых функций, рассмотренный в § 2.3. Показано, что основной причиной фрагментации является взаимодействие квазичастиц с фононами. Установлено, что одночастичные состояния, находящиеся вблизи поверхности Ферми, фрагментируют слабо, их сила концентрируется на одном уровне. С ростом квазичастичной энергии фрагментация увеличивается, функция распределения силы состояний становится шире, а форма ее сложнее и может иметь несколько максимумов. Очень важным свойством фрагментации, определяющим некоторые физические характеристики ядер, является наличие длинного хвоста у функции распределения. Проанализирована зависимость фрагментации от проекции момента и четности состояний, коллективности фононов, учета высших конфигураций и других факторов.

Возможность вычисления фрагментации одночастичных состояний открывает новые перспективы для изучения структуры ядер при средних энергиях возбуждения. В § 5.2 продемонстрировано применение указанного рассмотрения для исследования силовых функций реакций передачи одного нуклона. Исследовано поведение этих величин в широкой энергетической области, их зависимость от интервала усреднения, размерности фононного пространства и других факторов. Результаты по фрагментации состояний использованы в ряде других работ для анализа реакций (d, p) , (d, t) , (n, α) и (p, α) на деформированных ядрах радиоземельной области. Показано, что многие детали энергетической зависимости сечений указанных реакций удается объяснить лишь при учете фрагментации.

Изложенный в предыдущем параграфе метод оказался полезен для вычисления нейтронных силовых функций при энергии связи нейтрона. В § 5.3 изложены результаты расчетов этих величин для большой группы

деформированных ядер. Данный метод расчетов является принципиально новым по сравнению с другими и обладает тем преимуществом, что не имеет ни одного свободного параметра. Полученное хорошее согласие с экспериментальными данными для s - и p -волновых нейтронных силовых функций можно поэтому считать свидетельством правильного описания фрагментации одночастичных состояний при средней энергии возбуждения и вместе с результатами предыдущей главы является веским аргументом в пользу применимости КФМ в рассматриваемой энергетической области. Данные предсказания величин d -волновых нейтронных силовых функций, которые пока еще не извлечены из эксперимента с приемлемой точностью.

В шестой главе представлены результаты впервые выполненных систематических микроскопических расчетов свойств электрических дипольных, квадрупольных, октупольных и резонансоподобных структур с $\lambda \geq 4$ в деформированных ядрах редкоземельной области и актинидов. Преимущества микроскопического подхода в исследовании мультипольных гигантских резонансов особенно четко проявились в том, что без введения новых параметров в приближении случайной фазы удалось описать распределение силы резонансов в области их локализации (ширину).

В § 6.1 представлены результаты систематических расчетов свойств дипольных гигантских резонансов для большой группы деформированных ядер (более 30 изотопов). Рассчитанное расщепление резонансов, энергии центроидов с $K=0$ и I , их ширины, сечения фотовозбуждения, исчерпывание энергетически взвешенного правила сумм находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными.

В § 6.2 исследованы изоскалярные и изовекторные квадрупольные гигантские резонансы. Проанализировано исчерпывание правила сумм, рассмотрено положение центроидов, распределение силы для различных значений K и в зависимости от энергии, результаты расчетов согласуются с экспериментальными данными. Подробно обсуждается вопрос о ширине резонансов, поскольку удовлетворительного его решения в рамках других подходов пока не получено. Показано, что полная сила квадрупольного резонанса определяется соизмеримым вкладом всех компонент с разными K , а несовпадение их центроидов приводит к дополнительному увеличению его ширины.

В § 6.3 исследованы свойства гигантских октупольных резонансов. Обнаружение этого резонанса пока что встречается с большими экспериментальными трудностями, а теоретических исследований, кроме представленных в данном параграфе, до сих пор не проводилось. Расчеты показывают, что гигантский октупольный резонанс разбивается на три энергетически разделенные ветви: так называемый низкоэнергетический октупольный резонанс (LEOR), соответствующий, в основном, переходам

с $\Delta N=1$; изоскалярная ветвь резонанса, соответствующая преимущественно переходам с $\Delta N=3$; изовекторный резонанс. Здесь N — главное осциляторное число. Обнаруженный на эксперименте LEOR в ^{154}Sm находится в хорошем согласии с расчетами, для двух других ветвей резонанса есть только предварительные экспериментальные указания.

В § 6.4 исследованы свойства $E\lambda$ -резонансов с $\lambda \geq 4$, сделано заключение о возможных энергетических областях их существования.

Изучение МГР проведено в предыдущих параграфах шестой главы в однофононном приближении. Естественно поэтому исследовать, как изменятся эти результаты, если учесть влияние более сложных конфигураций. Результаты таких исследований изложены в § 6.5, для деформированных ядер они проведены впервые. Показано, что, несмотря на сильную фрагментацию отдельных однофононных состояний, интегральные характеристики МГР (положение центроидов, ширина) испытывают незначительные изменения при учете ангармоничности. Другими словами, область локализации резонансов в деформированных ядрах определяется, в основном, распределением их силы в однофононном приближении. Следовательно, деформация ядра является главной причиной формирования ширины гигантских резонансов в деформированных ядрах.

Преимущество микроскопического рассмотрения МГР перед феноменологическим состоит, в частности, в том, что оно дает квазичастичную структуру резонансов, знание которой позволило другим авторам рассчитывать сечения возбуждения резонансов в различных ядерных реакциях. Дополнительную информацию о структуре гигантских резонансов может также дать изучение различных каналов распада МГР. В § 6.6 рассмотрен вопрос о распаде гигантских резонансов, образованных в реакции фотопоглощения. Сечение реакции (n, γ) получено в рамках R -матричной теории в формализме приведенных ширин с выделением парциальных переходов в зависимости от энергий возбуждения начального и конечного ядра. Предложенное рассмотрение позволит в дальнейшем провести исследование структуры резонансов, определить соотношение каналов их распада и усовершенствовать квазичастично-фононную модель.

Таким образом, в диссертации рассмотрен широкий круг вопросов, связанных с проблемой описания структуры деформированных ядер, а также имеющих самостоятельное значение и приложения в других областях ядерной физики. Развитие в диссертации методы носят довольно общий характер и математически обоснованы.

На основе проведенных в диссертации исследований можно сделать вывод о применимости фундаментальной для современной теоретической ядерной физики концепции о выделении среднего поля и остаточных взаимодействиях, приводящих к смешиванию отдельных конфигураций нуклонов. Это позволило получить с хорошей степенью точности единое описание

свойств неротационных состояний деформированных ядер в широком интервале энергий возбуждения.

В заключении перечисляются основные результаты, полученные в диссертации.

Результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы в работах:

1. Малов Л.А., Нестеренко В.О., Соловьев В.Г. Однофононные состояния в деформированных ядрах для изоскалярного и изовекторного взаимодействия. - ТМФ, 1977, т. 32, № I, с. 134-144.
2. Soloviev V.G., Malov L.A. A Model for Describing the Structure of Highly Excited States in Deformed Nuclei (I). - Nucl. Phys., 1972, v. A196, No. 3, p. 433-451; Модель для описания структуры высоковозбужденных состояний деформированных ядер. I. - Дубна, ОИЯИ, 1972. - 36 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер.исслед.: P4-6346).
3. Malov L.A., Soloviev V.G. Fragmentation of Single-particle States and Neutron Strength Functions in Deformed Nuclei. - Nucl. Phys., 1976, v. A270, No. 1, p. 87-107; Фрагментация одночастичных состояний и нейтронные омовые функции в деформированных ядрах. - Дубна, ОИЯИ, 1976. - 41 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-9652).
4. Малов Л.А., Соловьев В.Г. Приближенное решение уравнений модели для описания фрагментации в деформированных ядрах. - ЯФ, 1975, т. 21, в. 3, с. 502-509.
5. Малов Л.А., Соловьев В.Г. Развитие модели для описания высоковозбужденных состояний нечетных деформированных ядер. - ТМФ, 1975, т. 25, № 2, с. 265-269.
6. Малов Л.А., Нестеренко В.О. Применение модели для описания структуры высоковозбужденных состояний деформированных ядер к случаю волновой функции, содержащей трехфононную компоненту. - Дубна, ОИЯИ, 1974. - 18 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-8206).
7. Акулиничев С.В., Малов Л.А. Модель для описания структуры высоковозбужденных состояний деформированных ядер. Случай двух близких энергетических полюсов. - Дубна, ОИЯИ, 1974. - 10 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-8433).
8. Акулиничев С.В., Малов Л.А. Исследование электромагнитных переходов в нечетных деформированных ядрах при средних и высоких энергиях возбуждения. Дубна, ОИЯИ, 1976. - 12 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-9672).
9. Малов Л.А., Соловьев В.Г. Квазичастично-фононная модель ядра. П. Фононное пространство. $E\lambda$ - гигантские резонансы в деформированных ядрах. - ЭЧАЯ, 1980, т. II, в. 2, с. 301-341.

10. Малов Л.А. О применении метода силовых функций к решению некоторых задач ядерной физики. - Дубна, ОИЯИ, 1981. - 17 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер.исслед.: P4-81-228).
11. Малов Л.А. Фрагментация простых конфигураций в деформированных ядрах. - Дубна, ОИЯИ, 1981. - 17 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-81-816).
12. Малов Л.А. Об электромагнитных переходах между высоковозбужденными состояниями деформированных ядер. - Дубна, ОИЯИ, 1982. - 9 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-82-183).
13. Иванова С.П., Комов А.Л., Малов Л.А., Соловьев В.Г. Двухквасичастичные и однофононные состояния четно-четных деформированных ядер в области актинидов. - ЭЧАЯ, 1976, т. 7, в. 2, с. 450-498.
14. Gareev F.A., Ivanova S.P., Malov L.A., Soloviev V.G. Single-particle Energies and Wave Functions for the Saxon-Woods Potential and the Levels of Odd-A Nuclei in the Actinide Region. - Nucl. Phys., 1971, v. A171, No. 1, p. 134-164; Одночастичные энергии, волновые функции потенциала Саксона-Вудса и уровни нечетных ядер в области актинидов. - Дубна, ОИЯИ, 1970, - 54 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-5470).
15. Китипова В., Кырчев Г., Малов Л.А. О влиянии ангармоничности и изовекторных сил на структуру низколежащих состояний с $K^\pi = 0^+, 2^+, 0^-, 1^-$ в четно-четных деформированных ядрах. - Изв. АН СССР (сер. физ.), 1979, т. 43, № 10, с. 2060-2070.
16. Комов А.Л., Малов Л.А., Соловьев В.Г. Неротационные состояния нечетных ядер в области актинидов. - Дубна, ОИЯИ, 1971. - 17 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер.исслед.: P4-5693).
17. Комов А.Л., Малов Л.А., Соловьев В.Г. Однофононные состояния четно-четных ядер и неротационные состояния ряда нечетных ядер в области актинидов. - Изв. АН СССР (сер. физ.), 1971, т. 35, № 8, с. 1550-1561.
18. Иванова С.П., Комов А.Л., Малов Л.А., Соловьев В.Г. Неротационные состояния ряда транскриптовых элементов. - Изв. АН СССР (сер. физ.), 1973, т. 37, № 5, с. 911-921.
19. Малов Л.А., Нестеренко В.О., Соловьев В.Г. О роли компонент квазичастица плюс два фона в волновых функциях неротационных низколежащих состояний деформированных ядер. - Изв. АН СССР (сер. физ.), 1975, т. 39, № 8, с. 1605-1611.
20. Вдовин А.И., Воронов В.В., Малов Л.А., Соловьев В.Г., Стоянов Ч. Зависимость плотности $1/2^+$ -состояний вблизи энергии связи нейтрона от массового числа. - ЯФ, 1974, т. 19, в. 3, с. 516-520.
21. Воронов В.В., Малов Л.А., Соловьев В.Г. Расчет плотности уровней деформированных ядер с учетом вращения. - ЯФ, 1975, т. 21, в. I, с. 40-43.

22. Malov L.A., Soloviev V.G., Voronov V.V. Semi-microscopic Description of the Density Excited States in Deformed Nuclei. - Nucl. Phys., 1974, v. A224, No. 2, p. 396-410;
Полумикроскопическое описание плотности возбужденных состояний деформированных ядер. - Дубна, ОИЯИ, 1973. - 24 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-7421).
23. Воронов В.В., Комов А.Л., Малов Л.А., Соловьев В.Г. Плотность уровней ядер в области $230 \leq A \leq 254$. - ЯФ, 1976, т. 24, в. 3, с. 504-507.
24. Malov L.A., Soloviev V.G., Voronov V.V. Level Density for Doubly Odd Deformed Nuclei. - Phys.Lett., 1975, v. 55B, No. 1, p. 17-18;
Плотность уровней нечетно-нечетных деформированных ядер. - Дубна, ОИЯИ, 1974. - 7 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-8102).
25. Вдовин А.И., Воронов В.В., Малов Л.А., Соловьев В.Г., Стоянов Ч. Полумикроскопическое описание плотности состояний сложных ядер. - ЭЧАЯ, 1976, т. 7, в. 4, с. 952-988.
26. Малов Л.А., Соловьев В.Г. Фрагментация одночастичных состояний в деформированных ядрах. - ЯФ, 1976, т. 23, в. 1, с. 53-60.
27. Малов Л.А., Соловьев В.Г. Общие закономерности фрагментации одночастичных состояний в деформированных ядрах. - ЯФ, 1977, т. 26, в. 4, с. 729-739.
28. Akulinichev S.V., Malov L.A. Semi-microscopic Calculation of the Giant Dipole Resonances in Deformed Nuclei. - Journ. Phys. G: Nucl. Phys., 1977, v. 3, No. 5, p. 625-632;
Полумикроскопическое описание гигантских дипольных резонансов в деформированных ядрах. - Дубна, ОИЯИ, 1976. - 15 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-9873).
29. Kurchev G., Malov L.A., Nesterenko V.O., Soloviev V.G. The Description of the Giant Quadrupole Resonance in Deformed Nuclei. - Nucleonika, 1978, v. 23, No. 1-2, p. 133-137;
Описание гигантского квадрупольного резонанса в деформированных ядрах. - Дубна, ОИЯИ, 1976, - 9с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-9697).
30. Кырчев Г., Малов Л.А., Нестеренко В.О., Соловьев В.Г. Полумикроскопическое описание гигантских квадрупольных резонансов в деформированных ядрах. - ЯФ, 1977, т. 25, в. 5, с. 951-958.
31. Malov L.A., Nesterenko V.O., Soloviev V.G. Semimicroscopic Description of Giant Octupole Resonances in Deformed Nuclei. - Phys.Lett., 1976, v. 64B, No. 3, p. 247-250;
Полумикроскопическое описание гигантских октупольных резонансов в деформированных ядрах. - Дубна, ОИЯИ, 1976. - 10 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-9879).

32. Malov L.A., Nesterenko V.O., Soloviev V.G. Low-energy Octupole Resonances in Deformed Nuclei. - Journ. Phys. G: Nucl. Phys., 1977, v. 3, No. 9, p. L219-L222;
Низкоэнергетические октупольные резонансы в деформированных ядрах. - Дубна, ОИЯИ, 1977. - 8 с. (Препринт/Объед. ин-т ядер. исслед.: P4-10454).
33. Киселев М.А., Малов Л.А., Нестеренко В.О., Соловьев В.Г. Расчеты гигантских $E\lambda$ -резонансов высокой мультипольности в деформированных ядрах. - Изв. АН СССР (сер. физ.), 1978, т. 42, № 9, с. 1842-1850.
34. Кырчев Г., Малов Л.А. Фрагментация гигантских мультипольных резонансов по двухфононным состояниям в ^{154}Sm . - Изв. АН СССР (сер. физ.), 1979, т. 43, № 1, с. 107-111.
35. Малов Л.А. Описание распада гигантских резонансов в квазичастично-фононной модели ядра. - В кн.: Тез. докл. XXXII Совещ. по ядер. спектроск. и структ. атом. ядра, Киев, 16-18 марта 1982 г., Л.: Наука, 1982, с. 142.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 июня 1982 года.