



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4-97-207

На правах рукописи
УДК 539.142/143

П-563

ПОНОМАРЕВ
Владимир Юрьевич

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОСТЫХ
И СЛОЖНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ
В СФЕРИЧЕСКИХ ЯДРАХ

Специальность: 01.04.16 — физика ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Дубна 1997

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики им.
Н.Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор Ю.П. Гангрский

доктор физико-математических наук, Н.Г. Гончарова

доктор физико-математических наук, О.М. Князьков

Ведущая организация:

Российский научный центр "Курчатовский институт", г. Москва

Защита диссертации состоится "___" _____ 1997 г. на засе-
дании специализированного совета Д047.01.01 Лаборатории теоре-
тической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединенного института
ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1997 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат физико-математических наук

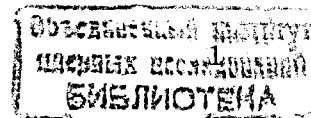

В.И. Журавлев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Взаимодействие простых мод возбуждения с более сложными и роль учета этого взаимодействия при описании свойств возбужденных состояний реальных физических объектов является несомненно одной из интереснейших проблем, возникающих при изучении различных многотельных систем. Представление о невзаимодействующих фонах, плазмонах, как элементарных квантах возбуждения, оказывается явно недостаточным для удовлетворительного описания всего многообразия свойств микросистем, известных из эксперимента. Атомное ядро является идеальным объектом для изучения упомянутой проблемы, поскольку за столетнюю историю его исследования был накоплен богатейший экспериментальный материал о его глобальных и индивидуальных свойствах.

Развитие современных технологий способствовало созданию новых экспериментальных установок и детекторов с рекордными характеристиками. В результате за последнее десятилетие был достигнут грандиозный прогресс в традиционной для физики структуре атомного ядра области – ядерной спектроскопии. Ярким примером тому являются эксперименты с использованием нового поколения германиевых детекторов, позволившие обнаружить в каждом исследуемом изотопе более пятидесяти уровней, не известных прежде. Совокупная информация, полученная в различных ядерных реакциях, дает возможность говорить о полной ядерной спектроскопии во многих ядрах до энергии возбуждения в несколько МэВ. Сравнение



характеристик близлежащих изотопов демонстрирует порой кардинальное изменение свойств системы при добавлении всего лишь двух нуклонов, что никак не может быть результатом плавного изменения глобальных характеристик ядра, таких, как среднее поле. В связи с тем, что область ядерной спектроскопии расширилась до энергий, при которых расположены не только двух-, но и трех- и четырехфононные конфигурации, совершенно очевидно, что без учета индивидуальных особенностей конкретных конфигураций в конкретных ядрах, без учета индивидуальных особенностей взаимодействия между ними невозможно претендовать на адекватное описание всего многообразия экспериментальных данных.

Роль взаимодействия со сложными конфигурациями в формировании свойств гигантских мультипольных резонансов известна уже давно. В первую очередь это взаимодействие ответственно за фрагментацию однофононных компонент по энергетическому интервалу в несколько МэВ, и тем самым за возникновение ширины гигантских резонансов. Новое поколение экспериментов на совпадение рассеянной частицы и испущенного ядром гамма-кванта открывает уникальную возможность изучать взаимодействие однофононных состояний с крайне ограниченным числом выделенных сложных конфигураций в энергетической области, где плотность конфигураций составляет несколько тысяч на один МэВ.

Замечательным открытием последних нескольких лет является обнаружение двухфононных гигантских резонансов. Несмотря на грандиозную плотность состояний в области их локализации, эти формирования оказались весьма компактными и неплохо укладываются в простую гармоническую картину. Эти эксперименты ставят перед теорией задачу о последовательном микроскопическом описании взаимодействия сложных конфигураций с еще более сложными.

Цель работы состоит в применении и развитии квазичастично-фононной модели ядра для описания многообразия свойств возбужденных состояний средних и тяжелых сферических ядер от низколежащих состояний до двойных резонансов на количественном уровне.

Научная новизна и практическая ценность

Детально исследованы изменения свойств возбужденных состояний сферических ядер до энергии возбуждения порядка 5 МэВ при удалении от замкнутой оболочки. Продемонстрировано, что квазичастично-фононная модель ядра дает хорошее количественное описание совокупности экспериментальных данных, полученных в реакциях неупругого рассеяния электронов, протонов и дейтронов и реакции двухнуклонной передачи (p,t) для цепочек изотопов.

Дано количественное описание фрагментации силы E1-переходов по 1⁻ состояниям, формирующим пигми-резонансы.

Теоретически обоснована возможность постановки эксперимента нового типа для обнаружения 2⁺ компоненты [3₁⁻ ⊗ 3₁⁻] мультиплета в ²⁰⁸Pb.

Объяснены причины аномального поведения сечения фотовозбуждения изомеров в нечетных ядрах.

На микроскопическом уровне исследован гамма-распад гигантских мультипольных резонансов на низколежащие возбужденные состояния.

Проведены исследования свойств двойных гигантских резонансов (положения, ширины и сечений возбуждения в реакции неупругого рассеяния тяжелых ионов) в рамках микроскопического подхода.

Создан комплекс вычислительных программ для расчета спектров и структуры возбужденных состояний, описываемых волновой функцией, содержащей одно-, двух- и трехфононные компоненты в четно-четных и квазичастичную, "квазичастица ⊗ фононные" и "квазичастица ⊗ двухфононные" компоненты в нечетных сферических ядрах.

Результаты исследований, представленных в диссертации, использовались для анализа и интерпретации экспериментальных данных, а также планирования новых экспериментов.

Для защиты выдвигаются следующие основные результаты, полученные в диссертации:

1. Продemonстрировано, что квазичастично-фононная модель ядра дает хорошее количественное описание большого объема современных экспериментальных данных о свойствах низколежащих состояний сферических ядер (как магических, так и ядер с незамкнутой оболочкой) до энергии возбуждения порядка 5 МэВ. Получено адекватное описание энергии уровней, их зарядовых переходных плотностей, областей концентрации силы электромагнитного возбуждения и сечения реакции двухнуклонной передачи.

2. Объяснены причины неудовлетворительного описания моделью взаимодействующих бозонов экспериментальных данных для состояний положительной четности и энергии возбуждения выше 3 МэВ несмотря на хорошее согласие с аналогичными данными для состояний отрицательной четности.

3. Показано, что основной вклад в вероятность возбуждения 1^- состояний в области пигми-резонансов дают однофононные компоненты волновой функции, однако для количественного описания фрагментации силы $E1$ -переходов, обнаруженной в эксперименте, волновая функция состояний должна содержать не только двухфононные, но и трехфононные компоненты.

4. Предложен эксперимент нового типа для обнаружения 2^+ компоненты $[3_1^- \otimes 3_1^-]$ мультиплета в ^{208}Pb . Показано, что с помощью современных HPGe детекторов открывается возможность идентифицировать 2^+ компоненту этого мультиплета, используя предсказываемые γ -распадные свойства $[3_1^- \otimes 3_1^-]_{2^+}$ конфигурации в основное и на 3_1^- возбужденное состояние.

5. Обнаружено, что взаимодействие простых и сложных конфигураций в нечетных ядрах является механизмом, ответственным за аномальное поведение сечения фотовозбуждения изомеров в этих ядрах. Продemonстрировано, что включение в расчет конфигураций типа "квазичастица \otimes два фонона" приводит к существенному улучшению описания спектров низколежащих состояний нечетных ядер с незамкнутой оболочкой.

6. Показано, что феноменологическая "твистовая" мода возбуждения может быть обнаружена в реакции неупругого рассеяния электронов на тяжелых ядрах.

7. Продemonстрировано, что взаимодействие гигантского дипольного резонанса (ГДР) с двухфононными конфигурациями типа $[2_1^+ \otimes \text{ГДР}]_1^-$ ответственно за экспериментально обнаруженный эффект неожиданно интенсивного распада ГДР на 2_1^+ состояние в изотопах олова.

8. Предложена микроскопическая схема расчета положения и ширины двойных гигантских дипольных резонансов (ДГДР) в сферических ядрах. Предсказано, что спиновое расщепление ДГДР является слабым. Показано, что положение ДГДР близко к удвоенной энергии ГДР, а ширина составляет $\sqrt{2}$ от ширины ГДР, что соответствует гармонической картине возбуждений.

9. Показано, что в двухступенчатом возбуждении ДГДР в реакции рассеяния тяжелых ионов при релятивистских энергиях 1^+ компонента $[\text{ГДР} \otimes \text{ГДР}]_{\text{ДГДР}}$ сильно подавлена по сравнению с 0^+ и 2^+ компонентами. Продemonстрировано, что для корректного сравнения экспериментальных данных и теоретических предсказаний следует учитывать также и одноступенчатый механизм возбуждения большого числа двухфононных 1^- состояний в области ДГДР.

Апробация диссертации

Результаты диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова ОИЯИ, свободного университета г. Амстердам, национального института по ядерной физике и физике высоких энергий (г. Амстердам), института ядерной физики (г. Гронинген, Нидерланды), института ядерной физики (г. Орсе, Франция), института ядерных наук (г. Гренобль, Франция), Миланского университета, университета г. Неаполь, технического университета г. Дармштадта (Германия), института ядерных исследований г. Дармштадта, технического университета г. Мюнхена. Результаты, изложенные в диссертации, также докладывались на 38 и 41 международных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, 7-м

международном семинаре "Электромагнитные взаимодействия ядер при низких и промежуточных энергиях" (Москва, 1988), международной конференции "Структура ядра в девяностых" (Оак-Ридж, США, 1990), международной конференции "Структура ядра и реакции при низких и промежуточных энергиях" (Дубна, 1992), III международной школе "Новые тенденции в ядерной физике" (Киев, 1992), 21 международном симпозиуме "Быстро вращающиеся ядра" (Токио, 1992), конференции по гигантским резонансам (Галл-Лейк, США, 1993), IV международной конференции по избранным вопросам структуры ядра (Дубна, 1994), 5-м международном весеннем семинаре "Новые перспективы в структуре ядра" (Равелло, Италия, 1995), XV конференции ядерного отделения Европейского физического общества "Ядерная динамика при низких энергиях" (С. Петербург, 1995), конференции по гигантским резонансам (Гронинген, Нидерланды, 1995), 18 международной школе по ядерной физике "4 π гамма-спектроскопия с высоким разрешением и структура ядра" (Эричи, Италия, 1996).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 40 работ в отечественной и зарубежной печати.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Она содержит 202 страницы машинописного текста, включая 44 рисунка, 19 таблиц и список литературы из 217 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении кратко сформулированы предмет и цель исследования, а также дано краткое описание содержания диссертации.

В первой главе диссертации представлены физические принципы и математический аппарат квазичастично-фононной модели ядра, применяемой в последующих главах для физических исследований свойств возбужденных состояний сферических ядер. Используя ми-

кроскопический гамильтониан, содержащий среднее поле, монопольное спаривание и остаточное взаимодействие в сепарабельной форме, осуществляется преобразование от фермионных операторов частиц и дырок к квазибоzonным операторам фононов. Энергия возбуждения и структура фононов определяется из уравнений приближения случайных фаз. Возбужденные состояния четно-четных сферических ядер описываются волновой функцией, содержащей одно-, двух- и трехфононные компоненты; в нечетных ядрах волновая функция содержит квазичастичную, "квазичастица \otimes фононную" и "квазичастица \otimes двухфононную" компоненты. Взаимодействие между различными компонентами волновой функции определяется на микроскопическом уровне, используя модельный гамильтониан и внутреннюю фермионную структуру операторов фононов. Получены уравнения для нахождения спектров возбужденных состояний, описываемых этими волновыми функциями, а также самих волновых функций. Обсуждаются приближения модели, а также принципы выбора модельных параметров при проведении непосредственных численных расчетов.

Во второй главе исследуются свойства низколежащих возбужденных состояний средних и тяжелых атомных ядер.

В разделе 2.1 изучаются изменения свойств низколежащих состояний четно-четных ядер при переходе от полумагических ядер к переходным. Представлены расчеты спектров возбуждения до энергии порядка 4 МэВ, структуры состояний, приведенных вероятностей электромагнитного возбуждения и их зарядовых переходных плотностей. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными, полученными из реакции неупругого рассеяния электронов. Зарядовые переходные плотности возбужденных состояний являются весьма чувствительным тестом для проверки различных моделей ядра. О качестве описания экспериментальных данных квазичастично-фононной моделью можно судить, например, по Рис. 1, где соответствующие результаты представлены для ядра ^{142}Nd . В этом разделе также продемонстрировано, что усиление взаимодействия простых и сложных конфигураций при удалении от ядер с замкнутой оболочкой к переходным ядрам приводит к более сильному смешиванию различных конфигураций в волновой функ-

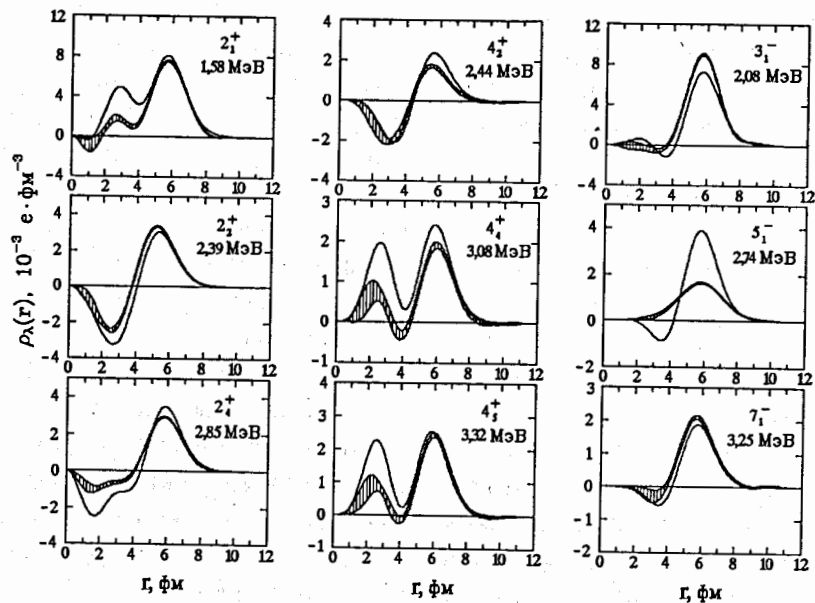


Рис. 1: Зарядовые переходные плотности некоторых низколежащих возбужденных состояний в ^{142}Nd . Кривые с экспериментальными ошибками соответствуют зарядовым плотностям, извлеченным с помощью модельно-независимого анализа из сечений реакции неупругого рассеяния электронов; сплошные кривые – теоретические предсказания. Указанные энергии возбуждения соответствуют экспериментальным значениям.

ции низколежащих состояний. Поэтому в ядрах с незамкнутой оболочкой появляются уровни с похожей формой зарядовой переходной плотности; данный факт также подтвержден экспериментально.

В разделе 2.2 рассматривается распределение силы изоскалярной и изовекторной компонент электромагнитных переходов различной мультипольности для цепочки изотопов неодима. Рассчитанные характеристики сравниваются с экспериментальными данными, извлеченными из реакций неупругого рассеяния протонов и дейтронов при низких энергиях. Эти реакции более чувствительны к возбуждению слабых состояний, чем реакция неупругого рассеяния электронов, и тем самым позволяют оценить полноту ядерных спектров, предсказываемых теорией. Распределение силы изоскалярных E2-, E3- и

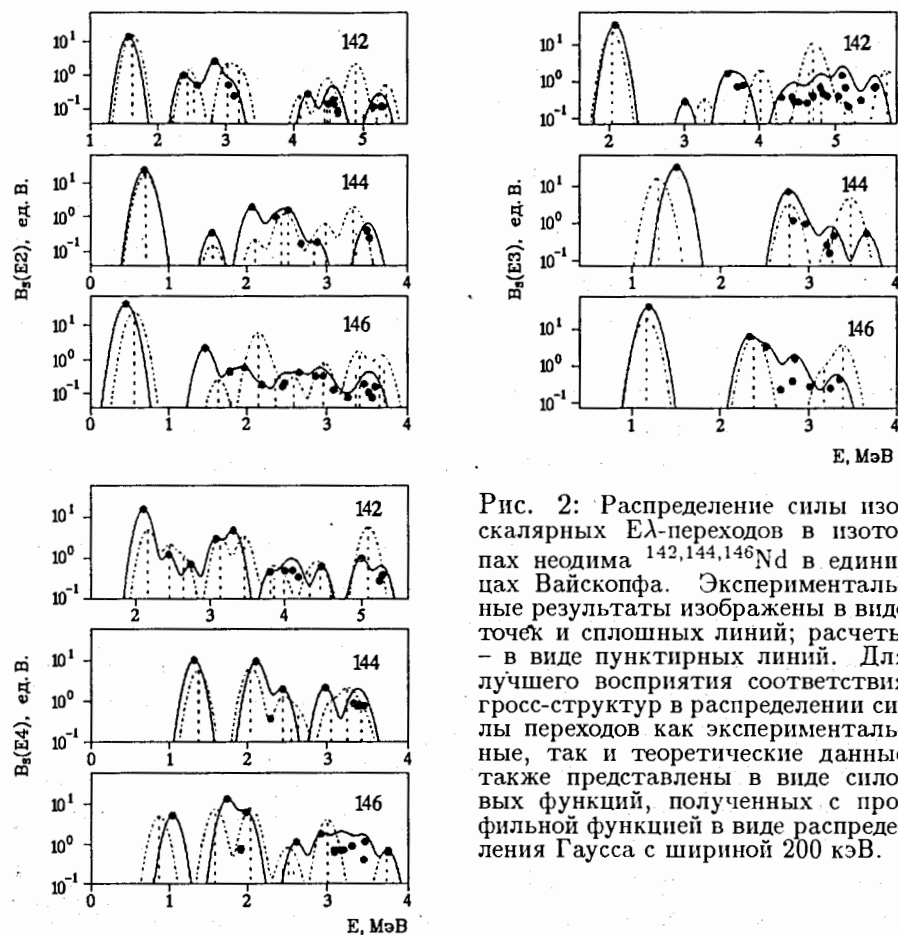


Рис. 2: Распределение силы изоскалярных E4-переходов в изотопах неодима $^{142,144,146}\text{Nd}$ в единицах Вайскопфа. Экспериментальные результаты изображены в виде точек и сплошных линий; расчеты – в виде пунктирных линий. Для лучшего восприятия соответствия gross-структур в распределении силы переходов как экспериментальные, так и теоретические данные также представлены в виде силовых функций, полученных с профильной функцией в виде распределения Гаусса с шириной 200 кэВ.

E4-переходов в изотопах $^{142,144,146}\text{Nd}$ представлены на Рис. 2. Сравнение с экспериментом показывает, что расчеты с волновой функцией возбужденных состояний, содержащей одно-, двух- и трехфонные компоненты, позволяют количественно описывать экспериментальные данные как в полумагических, так и переходных ядрах. Рассмотрены также соответствующие расчеты в рамках феноменологической модели взаимодействующих бозонов (МВБ). Объяснены причины неудовлетворительного описания эксперимента этой моделью для состояний положительной четности.

Раздел 2.3 посвящен описанию экспериментальных данных, полученных в реакции двухнуклонной передачи (p,t), в совокупности с данными по неупругому рассеянию протонов и дейтронов. Сечения (p,t) реакции рассчитываются на микроскопическом уровне путем суммирования вклада большого числа различных частично-дырочных конфигураций. Исследуется зависимость коллективности в каналах частица-дырка и частица-частица нижайших состояний различной мультипольности (и более высоколежащих состояний) от силы остаточного взаимодействия в соответствующих каналах, поскольку в ядрах с развитым спариванием оба типа остаточного взаимодействия смешивают одни и те же двухквaziчастичные конфигурации. Показано различное поведение исследуемой коллективности для ядер с уровнем Ферми вблизи частичных и дырочных уровней. Экспериментальные данные в конечном итоге используются для определения силы остаточного взаимодействия в канале частица-частица.

В разделе 2.4 исследуются свойства низколежащих 1^- состояний в сферических ядрах. Проанализированы экспериментальные данные по неупругому рассеянию фотонов, позволившие обнаружить тонкую структуру пигми-резонансов. Показано, что расчет с волновой функцией возбужденных состояний, содержащей одно-, двух- и трехфонные компоненты, позволяет описывать эти данные на количественном уровне (см. Рис. 3), при этом существенной оказывается интерференция между переходами на одно- и двухфонные компоненты волновой функции. Продемонстрировано, что вклад 1^+ состояний в сечение рассматриваемой реакции пренебрежимо мал. В этом разделе также рассматриваются γ -распадные свойства 2^+ компоненты двухфонного мультиплета $[3_1^- \otimes 3_1^-]$ в ядре ^{208}Pb , поиски которого интенсивно ведутся на протяжении многих лет. Сделанные оценки неоспоримо свидетельствуют в пользу возможности его экспериментального обнаружения в реакции неупругого рассеяния γ -квантов с использованием современных высокочувствительных детекторов.

В разделе 2.5 изучаются некоторые свойства низколежащих состояний в нечетных сферических ядрах. Исследуются физические процессы, ответственные за аномальное поведение сечения фото-

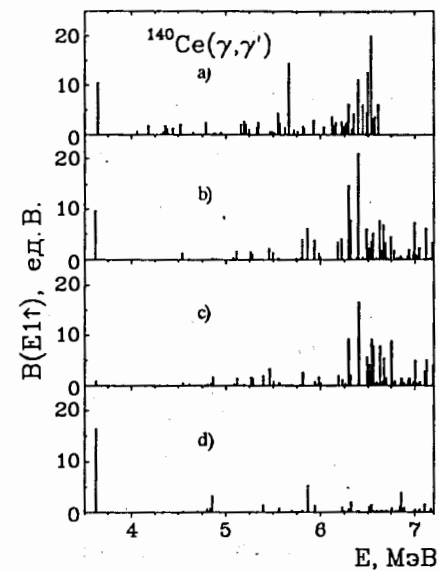


Рис. 3: (а) Распределение силы $B(E1)$ -переходов полученное в эксперименте; (b)-(d) Результаты расчета с волновой функцией, содержащей одно-, двух и трехфонные конфигурации; (с) Однофонная часть $E1$ -переходов; (d) Двухфонная часть $E1$ -переходов. Трехфонные конфигурации ответственны в этом расчете главным образом за фрагментацию.

возбуждения изомерных состояний. Экспериментально было обнаружено, что выход изомера имеет линейную зависимость от граничной энергии тормозного спектра на интервале энергий порядка 1 МэВ, затем происходит излом и опять начинается линейная зависимость с большим углом наклона на новом широком интервале энергий. Анализ структуры возбужденных состояний показал, что излом в плавном ходе прямой связан с наличием выделенных состояний, плотность которых очень мала и которые обладают заметным вкладом компонент волновой функции, связывающих эти состояния как с основным, так и с изомерными состояниями ядра посредством $E1$ - или коллективных $E2$ -переходов. В этом разделе изучается также влияние конфигураций типа "квaziчастица \otimes два фона" на свойства низколежащих состояний нечетных ядер. Показано, что учет этих компонент существенно улучшает описание экспериментальных спектров низколежащих возбужденных состояний нечетных ядер, удаленных от замкнутой оболочки.

В третьей главе рассмотрены некоторые свойства гигантских мультипольных резонансов.

В разделе 3.1 исследованы вероятности возбуждения гигантских резонансов различной мультипольности в реакции неупругого рассеяния электронов на большие углы при различных энергиях электронного пучка. Продемонстрировано, что с ростом переданного импульса заметно увеличивается плотность состояний различной мультипольности, дающих заметный вклад в сечение реакции. Отдельно изучены свойства твистовой моды возбуждения, предсказываемой макроскопической флуиддинамической моделью. Показано, что различия в поведении формфакторов (e, e') реакции, а также энергетических областей концентрации для твистовой и спиновой мод позволяют рассчитывать на экспериментальное выделение первой из них на фоне второй в тяжелых ядрах.

В разделе 3.2 рассмотрены γ -распадные свойства гигантских резонансов на низколежащие возбужденные состояния. Изучены два основных механизма распада: переход между однофононными компонентами гигантского резонанса и низколежащего состояния и распад со сложных, двухфононных, компонент резонанса. Последний механизм играет ключевую роль в объяснении экспериментально обнаруженного эффекта относительно примерно равноинтенсивного распада гигантского дипольного резонанса в изотопах олова в основное состояние и на нижайший 2^+ уровень (см. Рис. 4). Оценены возможности и получены положительные результаты для использования в схеме на совпадения эффекта распада со сложных конфигураций высокоэнергетического октупольного резонанса, для изучения его свойств, что сильно затруднено в обычных экспериментах высокой мультипольностью резонанса.

Четвертая глава посвящена изучению свойств двухфононных гигантских резонансов.

В разделе 4.1 рассматриваются вопросы, связанные с одноступенчатым процессом фотовозбуждения двухфононных конфигураций в области гигантских резонансов. Показано, что абсолютные сечения возбуждения отдельных двухфононных состояний $[\lambda_1^{T_1} \otimes \lambda_2^{T_2}]_1$ - малы, однако высокая плотность этих состояний при энергиях возбужде-

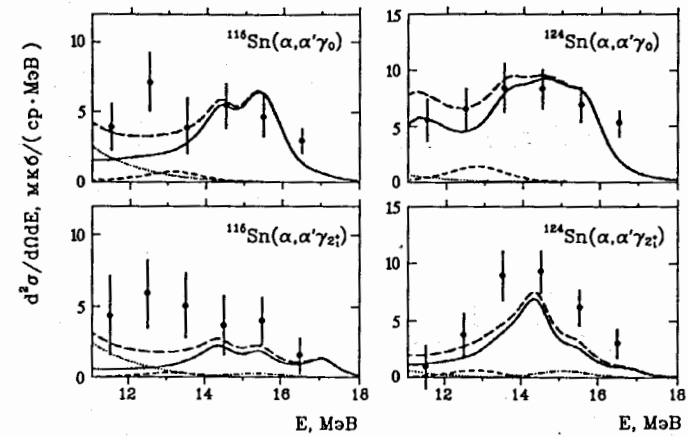


Рис. 4: Экспериментальные сечения (точки с экспериментальными ошибками) реакции неупругого рассеяния α -частиц в схеме на совпадения с γ -распадом в основное (верхняя часть) и на 2^+ возбужденное состояние (нижняя часть) для изотопов ^{116}Sn и ^{124}Sn в сравнении с результатами расчетов. Сплошная кривая соответствует возбуждению ГДР, пунктирная кривая – ГДР, штрих-пунктирная – ГМР, точечная кривая – вклад распада ГДР из компаунд-состояния, длинным пунктиром изображено суммарное сечение.

ния выше 20 МэВ в тяжелых ядрах приводит к их заметному вкладу в полное сечение фотовозбуждения, сравнимый, например, со вкладом изовекторного гигантского квадрупольного резонанса. При этом сечение фотовозбуждения двухфононных состояний имеет бесструктурный, фоновый характер на широком энергетическом интервале.

В разделе 4.2 изучается двухступенчатый механизм кулоновского возбуждения двухфононных конфигураций, реализуемый в реакции неупругого рассеяния тяжелых ионов при релятивистских энергиях. Сечения реакции рассчитываются в рамках полуклассической теории Алдера-Винтера как во втором порядке по теории возмущения, так и по методу связанных каналов. Данная реакция является селективной к возбуждению двухфононных конфигураций, построенных из двух коллективных фононов. Поскольку кулоновское возбуждение определяется главным образом $E1$ -переходами, в изучаемой реакции преимущественно возбуждаются $[\text{ГДР} \otimes \text{ГДР}]_1$ состояния,

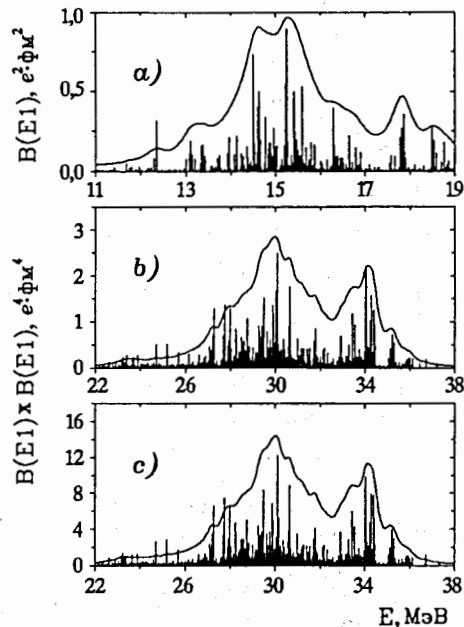


Рис. 5: (а) величины $V(E1)$ для ГДР и (b), (с) величины $V(E1) \times V(E1)$ для ДГДР, соответствующие кулоновскому возбуждению в рассеянии тяжелых ионов при релятивистских энергиях для ядра ^{136}Xe . Рисунки (b) и (с) представляют $J = 0^+$ и $J = 2^+$ компоненты ДГДР. Сплошная кривая – результат усреднения по всем состояниям с параметром усреднения $\Gamma = 0,5$ МэВ.

т.е. двухфонный гигантский дипольный резонанс (ДГДР). Показано, что только компоненты ДГДР с $J^\pi = 2^+$ и 0^+ дают заметный вклад в сечение реакции, вклад 1^+ компоненты при этом сильно подавлен. В разделе 4.3 представлены микроскопические расчеты положения и ширины ДГДР. Расчеты выполнены с учетом взаимодействия двухфонных конфигураций, формирующих резонанс, с одно- и трехфонными. В результате взаимодействия со сложными конфигурации двухфонные компоненты ДГДР фрагментируют по энергетическому интервалу в несколько МэВ. Показано, что 0^+ и 2^+ компоненты ДГДР являются практически вырожденными (см. Рис. 5). Ширина ДГДР близка к величине, равной $\sqrt{2}$ от ширины ГДР, а центр ДГДР сдвинут на энергию порядка 100 кэВ от удвоенной энергии ГДР. Таким образом сделано заключение, что свойства ДГДР близки к предсказаниям гармонической теории. В этом разделе обсуждается также вопрос о соответствии теоретических предсказаний и экспериментальных данных по абсолютным значениям сечения возбуждения двухфонных резонансов в реакции неупругого рассеяния тяжелых ионов. Относительный вклад одно-

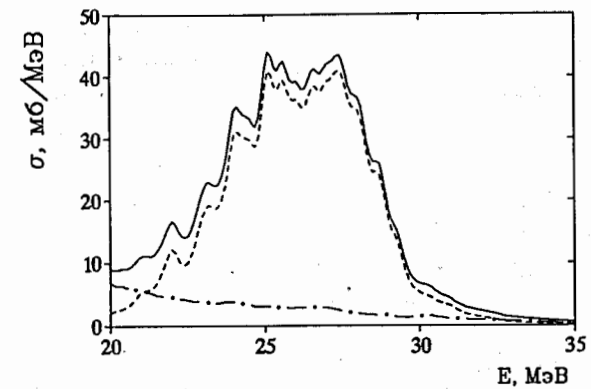


Рис. 6: Силовые функции сечения кулоновского возбуждения в области ДГДР в реакции ^{208}Pb (640 МэВ/нуклон) + ^{208}Pb , рассчитанные с параметром усреднения, равным 0,5 МэВ. Пунктирная кривая соответствует двухступенчатому возбуждению 0^+ и 2^+ состояний ДГДР через состояния ГДР; штрих-пунктирная кривая – одноступенчатому возбуждению двухфонных 1^- состояний; сплошная кривая – их сумма.

двухступенчатого механизма кулоновского возбуждения двухфонных состояний в области ДГДР представлен на Рис. 6.

В заключении сформулированы основные результаты исследований, представляемые к защите.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. V.Yu. Ponomarev, **On the nuclear twist extraction in the (e, e') reaction**, Journ. of Phys. G: Nucl. Phys. **10** (1984) L177-L181
2. В.Ю. Пономарев, **Возбуждение состояний различной мультипольности в реакции неупругого рассеяния электронов на большие углы**, ЯФ **41** (1985) 79-85.
3. Д.Т. Кхоа, И.Н. Кухтина и В.Ю. Пономарев, **К описанию возбуждения одно- и двухфонных состояний в сферических ядрах при неупругом рассеянии протонов низких энергий**, ЯФ **44** (1986) 906-915.

4. V.Yu. Ponomarev, V.G. Soloviev, Ch. Stoyanov and A.I. Vdovin, **The role of "quasiparticle \otimes phonon" components in gamma-decay of high lying states**, Phys. Lett. **B183** (1987) 237-242.
5. В.В. Воронов и В.Ю. Пономарев, **Распад гигантских резонансов**, в кн.: "7-й семинар Электромагнитные взаимодействия ядер при низких и промежуточных энергиях (Москва, Декабрь 1988)", Москва, (1990) 332-337.
6. R.K.J. Sandor, H.P. Blok, U. Garg, M.N. Harakeh, C.W. de Jager, V.Yu. Ponomarev, A.I. Vdovin and H. de Vries, **Interplay between single-particle and collective degrees of freedom in the excitation of the low-lying quadrupole states in ^{142}Nd** , Phys. Lett. **B233** (1989) 54-59.
7. V.V. Voronov and V.Yu. Ponomarev, **Gamma-decay of giant resonances**, Nucl. Phys. **A520** (1990) 619c-626c.
8. V.Yu. Ponomarev, A.P. Dubenskiy, V.P. Dubenskiy and E.A. Boiykova, **The anomaly in the energy dependence of the yield of the isomer in ^{81}Br by photo-excitation as the manifestation of nuclear intermediate structure**, Journ. of Phys. G: Nucl. Part. Phys. **16** (1990) 1727-1734.
9. В.В. Воронов, М.П. Сильвера и В.Ю. Пономарев, **Распад гигантских резонансов**, ЯФ **51** (1990) 79-84.
10. R.K.J. Sandor, H.P. Blok, U. Garg, M.N. Harakeh, C.W. de Jager, V.Yu. Ponomarev, A.I. Vdovin and H. de Vries, **Interplay between single-particle and collective degrees of freedom in the excitation of the low-lying states in ^{142}Nd** , Nucl. Phys. **A535** (1991) 669-700.
11. V.Yu. Ponomarev and V.V. Voronov, **On double resonances in spherical nuclei**, in book of talks at "Notre Dame Workshop on Giant Resonances and Related Phenomena", October 1991, Notre Dame, Indiana, USA, ed. by U.Garg, 4p.
12. W. Kim, J.R. Calarco, J.P. Connelly, J.H. Heisenberg, F.W. Hersman, T.E. Milliman, J.E. Wise, B.L. Miller, C.N. Papanicolas, V.Yu. Ponomarev, E.E. Saperstein and A.P. Platonov, **Properties of low-lying states in ^{142}Ce via high resolution electron scattering**, Phys. Rev. **C44** (1991) 2400-2412.
13. В.В. Воронов и В.Ю. Пономарев, **Парциальные ширины γ -распада квадрупольного резонанса в ^{208}Pb** , Изв. АН СССР (сер. физ.) **55** (1991) 2279-2283.
14. V.Yu. Ponomarev and V.V. Voronov, **On double resonances in spherical nuclei**, Phys. Lett. **B279** (1992) 1-4.
15. W. Kim, B.L. Miller, J.R. Calarco, L.S. Cardman, J.P. Connelly, S.A. Fayans, B. Frois, D. Goutte, J.H. Heisenberg, F.W. Hersman, V. Meot, T.E. Milliman, P. Mueller, C.N. Papanicolas, A.P. Platonov, V.Yu. Ponomarev and J.E. Wise, **Interplay between single-particle and collective degrees of freedom in the excitation of the low-lying states in ^{140}Ce** , Phys. Rev. **C45** (1992) 2290-2299.
16. J.E. Wise, J.P. Connelly, F.W. Hersman, J.H. Heisenberg, W. Kim, F.W. Leuschner, S.A. Fayans, A.P. Platonov, E.E. Saperstein and V.Yu. Ponomarev, **Transition Densities of Collective Excitations in ^{118}Sn** , Phys. Rev. **C45** (1992) 2701-2710.
17. V.Yu. Ponomarev, W.T.A. Borghols, S.A. Fayans, M.N. Harakeh, C.W. de Jager, J.B. van der Laan, A.P. Platonov, H. de Vries and S.Y. van der Werf, **Transition charge densities of low-lying collective states in ^{196}Pt from inelastic electron scattering**, Nucl. Phys. **A549** (1992) 180-196.
18. V.Yu. Ponomarev and A. Krasznahorkay, **On gamma decay of Giant Dipole Resonance in tin isotopes**, Nucl. Phys. **A550** (1992) 150-158.
19. V.Yu. Ponomarev, **Photoexcitation of isomers in odd nuclei**, in book of talks at III International School on Nuclear Physics "New trends in nuclear physics", Kiev, June 1992, 291-296.

20. V.Yu. Ponomarev and V.V. Voronov, **Double resonances in spherical nuclei**, in book of talks at Int. Conf. "Nuclear structure and reactions at low and intermediate energies", Dubna, 15-19 September, 1992, JINR, E4-93-58, 1993, 175-183.
21. R.K.J. Sandor, H.P. Blok, M. Girod, M.N. Harakeh, C.W. de Jager, V.Yu. Ponomarev and H. de Vries, **Shape transition of ^{146}Nd deduced from an inelastic electron scattering experiment**, Nucl. Phys. **A551** (1993) 378-408.
22. M. Pignanelli, N. Blasi, J.A. Bordewijk, R. de Leo, M.N. Harakeh, M.A. Hofstee, S. Micheletti, R. Perrino, V.Yu. Ponomarev, V.G. Soloviev, A. Sushkov and S.Y. van der Werf, **Strength distributions in neodymium isotopes: a test of collective nuclear models**, Nucl. Phys. **A559** (1993) 1-41.
23. M. Huber, P. von Neumann-Cosel, A. Richter, C. Schlegel, R. Schulz, J.J. Carroll, K.N. Taylor, D.G. Richmond, T.W. Sinor, C.B. Collins and V.Yu. Ponomarev, **Structure of intermediate states in the photoexcitation of the ^{89}Y isomer**, Nucl. Phys. **A559** (1993) 253-265.
24. J.J. Carroll, C.B. Collins, K. Heyde, M. Huber, P. von Neumann-Cosel, V.Yu. Ponomarev, D.G. Richmond, A. Richter, C. Schlegel, T.W. Sinor and K.N. Taylor, **Intermediate structure in the photoexcitation of $^{77}\text{Se}^m$, $^{79}\text{Br}^m$ and $^{137}\text{Ba}^m$** , Phys. Rev. **C48** (1993) 2238-2245.
25. R. Perrino, N. Blasi, R. de Leo, M.N. Harakeh, C.W. de Jager, S. Micheletti, J. Mieremet, M. Pignanelli, V.Yu. Ponomarev, R.K.J. Sandor and H. de Vries, **Excitation of low-lying states in ^{144}Nd by means of (e,e') scattering**, Nucl. Phys. **A561** (1993) 343-366.
26. V.Yu. Ponomarev, E. Vigezzi, P.F. Bortignon, R.A. Broglia, G. Colò, G. Lazzari, V.V. Voronov and G. Baur, **Multiple excitation of giant dipole resonances in relativistic heavy ion collisions**, Phys. Rev. Lett. **72** (1994) 1168-1171.
27. V.Yu. Ponomarev, E. Vigezzi, P.F. Bortignon, R.A. Broglia, G. Colò, G. Lazzari, V.V. Voronov and G. Baur, **Microscopic origin of the giant resonance structure**, Nucl. Phys. **A569** (1994) 333c-342c.
28. В.Ю. Пономарев и В.В.Воронов, **Тонкая структура гигантских резонансов**, Изв. РАН (сер. физ.) **58(11)** (1994) 89-96.
29. V.V. Voronov and V.Yu. Ponomarev, **Looking inside giant resonance fine structure**, in book of talks at IV International Conference on Selected Topics in Nuclear Structure, Dubna, Russia, 5-9 July, 1994, JINR, E4-94-370, 1994, 9-18.
30. N. Blasi, R. De Leo, S. Micheletti, M. Pignanelli and V.Yu. Ponomarev, **A test of QPM model by inelastic excitations and the (p,t) reaction**, in book of talks at IV International Conference on Selected Topics in Nuclear Structure, Dubna, Russia, 5-9 July, 1994, JINR, E4-94-370, 1994, 160-172.
31. P. von Neumann-Cosel, V.Yu. Ponomarev, A. Richter and C. Spieker, **The $^{115}\text{In}(\gamma,\gamma')$ reaction as a test of the quasi-particle phonon model with complex configurations in odd-mass nuclei**, Z. Phys. **A350** (1995) 303-309.
32. V.V. Voronov and V.Yu. Ponomarev, **Single and double resonances in spherical nuclei**, in book of talks at EPS XV Nucl. Phys. Div. Conf. "Low Energy Nuclear Dynamics" (St. Petersburg, Russia, April 1995), Singapore, World Scientific, 1996, ed. Oganessian, von Oertzen, Kalpakchieva, 556-563.
33. N. Blasi, S. Micheletti, M. Pignanelli and V.Yu. Ponomarev, **Probing nuclear correlations by inelastic scattering and (p,t) reactions**, in book of talks at 5th International Spring Seminar on Nuclear Physics "New perspectives in nuclear structure" (Ravello, May 1995), Singapore, World Scientific, 1996, ed. A. Cavello, 101-110.
34. C.A. Bertulani, V.Yu. Ponomarev and V.V. Voronov, **Quenching of 1^+ excitations in the double giant resonance**, Phys. Lett. **B388** (1996) 457-461.

35. V.Yu. Ponomarev, P.F. Bortignon, R.A. Broglia, E. Vigezzi and V.V. Voronov, **On single and double resonances in spherical nuclei**, Nucl. Phys. **A599** (1996) 341c-346c.
36. V.Yu. Ponomarev, M. Pignanelli, N. Blasi, A. Bontempi, J.A. Bordewijk, R. de Leo, C. Graw, M.N. Harakeh, D. Hofer, M.A. Hofstee, S. Micheletti, R. Perrino and S.Y. van der Werf, **Particle-hole and particle-particle correlations in Neodymium isotopes**, Nucl. Phys. **A601** (1996) 1-40.
37. V.Yu. Ponomarev, P.F. Bortignon, R.A. Broglia and V.V. Voronov, **Damping width of double resonances**, Z. Phys. **A356** (1996) 251-254.
38. R.-D. Herzberg, P. von Brentano, J. Eberth, J. Enders, R. Fischer, N. Huxel, T. Klemme, P. von Neumann-Cosel, N. Nicolay, N. Pietrallà, V. Yu. Ponomarev, J. Reif, A. Richter, C. Schlegel, R. Schwengner, S. Skoda, H. G. Thomas, I. Wiedenhöver, G. Winter and A. Zilges, **Fine structure of the E1 response in ^{140}Ce below the particle threshold**, Phys. Lett. **B390** (1997) 49-54.
39. V.Yu. Ponomarev and C.A. Bertulani, **Two-phonon background for the double giant resonance**, JINR communication, E4-97-138, Dubna, 1997.
40. J. Enders, P. von Neumann-Cosel, V.Yu. Ponomarev and A. Richter, **A new experimental access to the two-phonon octupole vibration in ^{208}Pb** , Nucl. Phys. **A612** (1997) 239-248.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 июля 1997 года.