



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 253

4-88-220

УДК 539.142/143

ВДОВИН

Андрей Иванович

**РЕЗОНАНСО-ПОДОБНЫЕ СТРУКТУРЫ
В СФЕРИЧЕСКИХ ЯДРАХ**

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

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

Дубна 1988

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

Л. Д. Блохинцев

доктор физико-математических наук,
профессор

С. Г. Каменский

доктор физико-математических наук,
профессор

Г. Ф. Филипов

Ведущая организация - физико-энергетический институт,
Обнинск.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1988 г.
в _____ час. на заседании Специализированного совета
Д047.01.01 при Лаборатории теоретической физики Объединенного
института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1988 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Специализированного совета
кандидат физико-математических наук

В. И. Куравлев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Открытие в начале 70-х годов так называемых "новых" гигантских мультипольных резонансов в четно-четных ядрах и резонансо-подобных структур в нечетных ядрах положило начало широкому и детальному изучению ядерных спектров при энергиях возбуждения $5 \leq E_x < 30$ МэВ. В этой части ядерного спектра в сечениях различных реакций более или менее ясно видны резонансные структуры разного типа. Во многих случаях они хорошо локализованы, и их характеристики, такие как центроид, ширина (или область локализации), вероятность возбуждения, плавно меняются при переходе от ядра к ядру. Существование указанных резонансо-подобных структур, значения характеризующих их параметров отражают специфику отклика ядра на различные внешние поля.

Изучение свойств резонансо-подобных структур расширяет и углубляет наши знания о ядерной динамике, взаимодействии нуклонов в ядре. Например, анализ и интерпретация данных о резонансо-подобных структурах в нечетных ядрах дают возможность проверить наши представления о среднем поле ядра до энергии возбуждения $E_x \approx 10-15$ МэВ, сравнить характер затухания простых ядерных возбуждений в четно-четных и соседних нечетных ядрах. Важным шагом в описании свойств резонансов и резонансо-подобных структур явились микроскопические расчеты их ширины в средних и тяжелых ядрах. Одной из моделей, которые успешно используются для этой цели, является квазичастично-фононная модель ядра.

Резонансо-подобные структуры интенсивно исследуются экспериментаторами многих крупных научных центров. При этом определение количественных характеристик резонансов является, по существу, результатом совместных усилий теории и эксперимента. Так как разного типа резонансы во многих случаях перекрываются и имеют близкие вероятности возбуждения в одних и тех же ядерных процессах, для количественного анализа экспериментальных данных необходимо уметь вычислять распределения вероятностей переходов заданного типа по спектру ядра. Из-за использования эмпирических процедур вычитания фона реакции, привлечения для обработки экспериментальных сечений устаревших феноменологических моделей в экспериментальных данных возникают значительные неопределенности. Чтобы надежно выделять вклад резонансов в сечения

реакций, необходимы в качестве ориентира теоретические предсказания об их положении, области локализации и вероятностях возбуждения.

Указанные трудности дали себя знать в концентрированной форме при изучении спиновых и спин-изоспиновых резонансов. Результаты некоторых экспериментов послужили, в частности, основанием для предположений об очень сильном влиянии на свойства спиновых возбуждений ядер ненулонных степеней свободы ядра. Чтобы выявить их действительную роль, необходим тщательный анализ фрагментации спиновых резонансов и вероятностей их возбуждения в разных реакциях.

Таким образом, систематическое изучение резонансо-подобных структур, вероятностей их возбуждения в различных ядерных процессах в рамках микроскопических ядерных моделей представляет собой актуальную и важную проблему.

Цель работы состоит в теоретическом изучении резонансо-подобных структур в сферических ядрах, вероятностей их возбуждения в различных реакциях, совершенствовании с этой целью квазичастично-фононной модели ядра, систематическом сравнении теоретических результатов с экспериментом и получении предсказаний для постановки новых экспериментов.

Научная новизна и практическая ценность

Впервые сечения возбуждения магнитных резонансов в неупругом рассеянии электронов и протонов исследованы с учетом влияния сложных конфигураций, что позволило оценить вклад нуклонных корреляций в экспериментально наблюдаемое подавление силы резонансных М1-переходов.

Впервые проведены систематические исследования фрагментации высоколежащих одночастичных состояний. С точки зрения теории проанализирована вся имеющаяся совокупность экспериментальных данных, сделаны предсказания для планирующихся экспериментов. Показано, что феноменологический потенциал Вудса-Саксона правильно передает положение подболочек вплоть до энергии возбуждения $E_x \approx 10-15$ МэВ.

Впервые плотность возбужденных состояний сферических ядер при энергиях ниже энергии отделения нейтрона рассчитана комбинаторным методом, учитывающим вклад вибративного движения. Предказана зависимость плотности уровней от четности.

Полученные в диссертации результаты заметно углубили существующие представления о структуре ядра. Они широко используются при анализе экспериментальных данных во многих научных центрах, а также при планировании и подготовке экспериментов.

Для защиты выдвигаются следующие основные результаты, полученные в диссертации:

1. Систематически исследованы свойства магнитных резонансов сферических ядер. Проанализировано влияние различных компонент эффективного взаимодействия нуклонов на их структуру и показано, что в квазичастично-фононной модели ядра изоскалярное спин-мультипольное взаимодействие на порядок слабее изовекторного.

2. Модель правильно описывает гросс-структуру распределения резонансных М1-переходов в разных ядрах, энергии и вероятности возбуждения изоскалярных 1^+ -состояний. Предсказано существование второго максимума в распределении М1-силы в ^{90}Zr , что подтверждено экспериментом.

3. Предсказана сильная фрагментация изовекторных спин-мультипольных резонансов, расположенных при энергиях 15-30 МэВ, которая должна затруднять их экспериментальное обнаружение.

4. Впервые сечения электровозбуждения спин-мультипольных резонансов в средних и тяжелых ядрах рассчитаны с учетом взаимодействия одно- и двухфононных состояний. Показано, что учет этого взаимодействия принципиально необходим для объяснения данных по электровозбуждению М2-резонанса в ^{58}Ni .

5. Показано, что большую роль в ослаблении наблюдаемой силы магнитных переходов по сравнению с одночастичными оценками играют нуклонные корреляции, в том числе и взаимодействие со сложными конфигурациями. Экспериментальные вероятности электровозбуждения М1- и М2-резонансов согласуются с теоретическими при традиционных значениях эффективных гиромагнитных факторов. Близкую величину имеет и фактор подавления вероятности возбуждения М1-резонанса в (p, p') -рассеянии.

6. Исследовано влияние коллективных резонансных 2^- -состояний на вероятности М2-переходов между низколежащими уровнями нечетных ядер и показано, что связь с ними приводит к уменьшению значений $B(M2)$ в 2-3 раза. Объяснена характерная зависимость вероятности $B(M2, II/2_1^- \rightarrow 7/2_1^+)$ в цепочке изотопов олова от массового числа.

7. Получена система уравнений квазичастично-фононной модели для энергий и структурных амплитуд волновых функций нечетных сферических ядер, в которой последовательно учтены поправки, связанные с принципом Паули и взаимодействием фононных возбуждений остова. Продемонстрировано, что ангармонизм фононных возбуждений слабо влияет на распределения силы высоколежащих одночастичных (дырочных) состояний в ядрах с полумагическим остовом.

8. Впервые проведены систематические исследования фрагментации высоколежащих одночастичных подболочек. Модель правильно описывает

интегральные характеристики распределений их сил. В ряде случаев теоретические результаты подтверждены последующими экспериментами. Сделан вывод, что феноменологический потенциал Вудса-Саксона удовлетворительно воспроизводит положение подболочек вплоть до энергии возбуждения 10–15 МэВ.

9. Выявлено существование регулярных различий в силе взаимодействия нейтронной и протонной квазичастиц с возбуждениями полумагического остова, что подтверждается экспериментальными данными.

10. Расчитана плотность ядерных уровней при энергии связи нейтрона в большом числе сферических ядер с массовыми числами $60 \leq A \leq 200$. Для этого использован сформулированный в рамках КФМ комбинаторный метод, учитывающий влияние на плотность уровней коллективного ядерного движения. Вклад коллективных состояний приводит к возрастанию плотности уровней, что в большинстве случаев улучшает согласие теории и эксперимента.

11. Исследована зависимость плотности уровней от спина и четности состояний и энергии возбуждения. Обнаружена сильная зависимость плотности уровней от четности в ядрах с $A \approx 60-90$, что качественно подтверждено экспериментом.

Апробация диссертации

Основные материалы диссертации неоднократно докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики ОИЯИ, Института ядерных исследований АН СССР, Института ядерных исследований АН УССР, Физико-энергетического института (г.Обнинск), Института ядерной физики Центра ядерных исследований (г.Мюльх, ФРГ). Они были также представлены и докладывались на 29, 31 и 33 Совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре ядра, Международной школе по ядерной физике (Предеал, СРР, 1974), тематической конференции Европейского физического общества "Коллективные движения большой амплитуды в ядрах" (ВНР, 1979), У Семинаре "Электромагнитные взаимодействия ядер при малых и средних энергиях" (Москва, 1981), Международной школе по структуре ядра (Алушта, 1985), 4-ом Международном симпозиуме по реакциям, вызванным нейтронами (Смоленце, ЧССР, 1985), Международном симпозиуме "Слабые и электромагнитные взаимодействия в ядрах" (Гейдельберг, ФРГ, 1986), Весенней школе по ядерной физике (Хольцхау, ГДР, 1986), рабочем совещании по программе исследований на разрезном микротроне непрерывного действия (Москва, НИИЯФ МГУ, 1986), сессии ОЯФ АН СССР (Москва, 1986), секции по теоретической физике Ученого Совета ОИЯИ (1980), Комитете по структуре ядра ОИЯИ (1987).

Публикации

По результатам диссертации опубликовано 30 работ.

Объем работ

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Она содержит 266 страниц машинописного текста, включая 25 таблиц, 62 рисунка и библиографический список литературы из 350 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко изложена постановка физической задачи и обоснована актуальность и важность исследуемых проблем.

Первая глава диссертации в основной своей части посвящена изложению формализма квазичастично-фононной модели ядра (КФМ). Гамильтониан модели включает средние поля для протонов и нейтронов, которые задаются в виде потенциала Вудса-Саксона, нейтрон-нейтронное и протон-протонное спаривательные взаимодействия с не зависящими от состояния матричными элементами, и сепарабельные мультипольные и спин-мультипольные силы, действующие в канале частица-дырка. В § 1.1 подробно обсуждается параметризация гамильтониана и область применимости модели. В следующем параграфе (§ 1.2) гамильтониан КФМ, записанный в нуклонных переменных, посредством преобразования Боголюбова к операторам квазичастиц и последующего перехода от операторов пар квазичастиц к операторам фононов приобретает вид гамильтониана системы взаимодействующих элементарных мод - квазичастиц и фононов. При этом энергии и волновые функции фононных возбуждений вычисляются в приближении случайной фазы (ПСФ). В уравнениях ПСФ учтено влияние всех компонент эффективного сепарабельного взаимодействия в канале частица-дырка, которые дают вклад в структуру однофононных возбуждений данного спина и четности. Затем получены уравнения для энергий и структурных амплитуд волновых функций возбужденных состояний четно-четных ядер, учитывающие взаимодействие одно- и двухфононных состояний. В § 1.3 формализм КФМ изложен применительно к нечетным сферическим ядрам. Уравнения для энергий и структурных амплитуд волновых функций нечетных сферических ядер получены вариационным методом. При этом пробная волновая функция включала одноквазичастичную компоненту и компоненты "квазичастица ⊗ фонон" и "квазичастица ⊗ два фонона". При вычислении нормировки волновой функции и среднего значения модельного гамильтониана был использован метод последовательного учета принципа Паули, а также учтено взаимодействие одно- и двухфононных состояний остова. Полученная в результате система уравнений обобщает уже известные и ранее использовавшиеся уравнения КФМ для нечетных ядер. Показано, что она содержит их в качестве частных случаев. В § 1.4 описаны методы расчета вероятностей электромагнитных переходов и сечений

неупругого рассеяния электронов и протонов промежуточных энергий с использованием волновых функций КФМ. Получены выражения для переходных плотностей возбуждаемых состояний. Обсуждаются приближения, которые использованы при вычислении сечений реакций, в том числе импульсное приближение метода искаженных волн и параметризация эффективного взаимодействия падающего протона с энергией несколько сотен МэВ с нуклонами ядра. Кратко изложен метод силовых функций, сильно упрощающий расчеты сечений (e, e') - и (p, p') -рассеяния. В последнем параграфе первой главы (§ 1.5) представлены результаты комбинаторных расчетов плотности уровней сферических ядер при энергии связи нейтрона. Сформулированный в рамках КФМ комбинаторный метод вычисления плотности уровней $\rho(E_x, J^\pi)$ позволяет учесть влияние вибрационного движения на эту важную характеристику ядра. Показано, что вклад коллективных состояний увеличивает ρ , что в большинстве случаев улучшает согласие теоретических результатов с экспериментальными данными. Расчеты, выполненные для большого числа сферических ядер с $60 < A < 210$, показали, что теория описывает экспериментальные данные с точностью до фактора ~ 3 . Исследована зависимость плотности уровней от энергии (при $E_x \leq B_n$), спина и четности. Теоретические расчеты хорошо воспроизводят экспериментальную зависимость $\rho(E_x)$ при $E_x \leq 6$ МэВ в ^{109}Sn . Обнаружена зависимость ρ от четности. Существование такого эффекта было впоследствии подтверждено экспериментально.

В главе второй излагаются результаты изучения резонансо-подобных структур, обнаруженных в реакциях срыва нуклона на четно-четных ядрах-мишенях и связанных с возбуждением в этих реакциях квазистационарных одночастичных подболочек. В § 2.1 проанализированы методические вопросы, связанные с расчетами силовых распределений высоколежащих одночастичных подболочек. Во-первых, показано, что взаимодействие фононных возбуждений остова слабо влияет на распределение сил одночастичных (дырочных) подболочек в нечетных ядрах с полумагическим остовом. Во-вторых, выяснена важная роль коллективных фононов промежуточных энергий возбуждения в формировании тонкой структуры распределений сил высоколежащих одночастичных подболочек. Это обстоятельство игнорируется в других теоретических подходах. В § 2.2 представлены результаты расчетов силовых распределений нейтронных и протонных одночастичных подболочек, возбуждаемых в реакциях срыва нуклона на ядрах-мишенях ^{90}Zr , $^{116,120}\text{Sn}$, ^{144}Sm , ^{208}Pb , а также дырочных нейтронных и протонных подболочек в ^{89}Zr и ^{89}Y . Проведено детальное сравнение теоретических результатов с экспериментальными данными, которые в ряде случаев были получены уже после опубликования теоретических расчетов. Наиболее надежные и подробные данные от-

носятся к высоколежащим протонным состояниям в ^{145}Eu и ^{209}Bi . Данные для ^{145}Eu сравниваются с теоретическими силовыми функциями на рис. I.

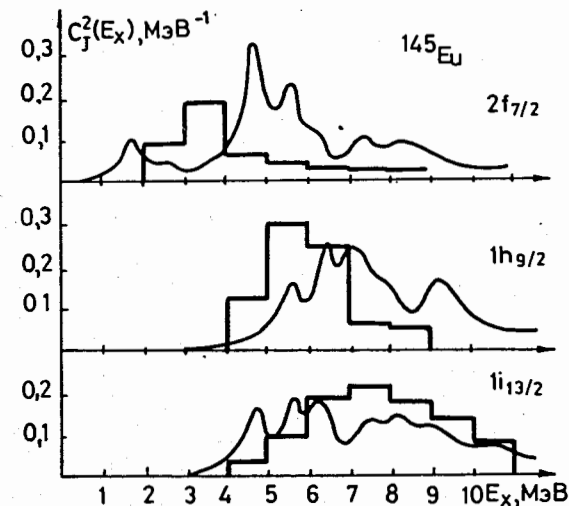


Рис. I. Экспериментальные гистограммы и теоретические силовые функции, описывающие распределение сил высоколежащих протонных одночастичных подболочек в ^{145}Eu .

В целом модель вполне удовлетворительно описывает первый и второй моменты силовых распределений, исчерпывание сил состояний на изученных экспериментаторами интервалах энергии возбуждения, а в ряде случаев и тонкую структуру распределений. В § 2.3 обсуждаются два вопроса более общего характера. Во-первых, на основании совместного анализа представленных в § 2.2 результатов изучения высоколежащих одночастичных состояний и опубликованных ранее результатов для глубоколежащих дырочных состояний показано, что феноменологический потенциал Вудса-Саксона, который использован нами для описания среднего поля, вполне удовлетворительно передает положение одночастичных (дырочных) подболочек вплоть до энергий возбуждения ~ 10 – 15 МэВ, то есть подболочек, расположенных не только в заполняющейся главной оболочке, но и в соседних с ней. Для высоколежащих подболочек центры экспериментальных и теоретических распределений согласуются с точностью ~ 1 МэВ, причем различия теории и эксперимента не носят систематического характера. Во-вторых, выяснены причины заметных различий в силе фрагментации протонных и нейтронных подболочек с одними и теми же квантовыми числами в нечетных ядрах с общим полумагическим четно-четным остовом.

Показано, что дело не только в заметной разнице энергий возбуждения подоболочек, но, главным образом, в том, что нечетные протон и нейтрон по-разному взаимодействуют с фононами полумагического остова. Поэтому, например, протонные одностичные подоболочки в изотопах ^{90}Zr фрагментированы гораздо сильнее нейтронных одностичных подоболочек в нечетных изотопах Sn. Результаты теоретического анализа подтверждаются экспериментальными данными не только для высоколежащих состояний, но и для состояний с небольшими энергиями возбуждения.

В третьей главе исследованы магнитные дипольные состояния четно-четных сферических ядер. В § 3.1 кратко изложена история поисков и экспериментального и теоретического изучения М1-резонанса. Основное внимание уделено результатам экспериментов по неупругому рассеянию электронов и протонов промежуточных энергий, выполненных в конце 70-х - начале 80-х годов, и новейшим данным, полученным на пучках поляризованных меченых фотонов. В § 3.2 на основании экспериментальных данных об изоскалярном Γ^+ -состоянии ядра ^{208}Pb показано, что изоскалярное спиновое взаимодействие в КФМ много слабее изовекторного спинового взаимодействия. Это заключение подтверждается удовлетворительным описанием свойств изоскалярного Γ^+ -состояния в ^{206}Pb . Здесь же исследована фрагментация магнитных дипольных состояний. Экспериментальные данные о распределении М1-силы имеются для ядер ^{206}Pb , ^{140}Ce и ^{90}Zr . Модель удовлетворительно описывает эти данные (рис.2). В ^{90}Zr М1-резонанс первоначально был обнаружен в реакции неупругого

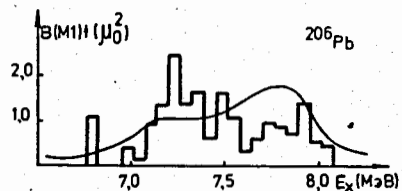


Рис.2. Экспериментальная гистограмма и теоретическая силовая функция, описывающие распределение силы М1-переходов в области магнитного дипольного резонанса в ядре ^{206}Pb .

рассеяния протонов с $E_p = 20\text{I}$ МэВ на малые углы, его энергия возбуждения $E_x \approx 9$ МэВ. Расчеты в рамках КФМ показывают, что из-за парных корреляций в протонной системе ядра ^{90}Zr в распределении М1-силы в этом ядре должен существовать второй максимум при $E_x \approx 10\text{--}11$ МэВ. Этот факт подтвержден в экспериментах с поляризованными мечеными фотонами. Полная сила М1-переходов, обнаруженная в ^{90}Zr , ^{140}Ce и ^{206}Pb , согласуется с рассчитанной теоретически при значениях эффективных спиновых гиромагнитных факторов нуклона в ядре $g_s^{\text{eff}} = 0,8 g_s^{\text{free}}$ (таблица I). Самые надежные и детальные сведения об М1-резонансе в средних и тяжелых ядрах были по-

Таблица I. Экспериментальные данные и теоретические результаты ($g_s^{\text{eff}} = 0,8 g_s^{\text{free}}$) о полной силе М1- и М2-переходов на исследованных интервалах энергии возбуждения (ΔE_x) в разных ядрах

Ядро	$\sum_{\Delta E_x} B(\text{M1})\uparrow (\mu_0^2)$		$\sum_{\Delta E_x} B(\text{M2})\uparrow (\mu_0^2 \text{fm}^2)$			
	ΔE_x , МэВ	эксп.	теор.	ΔE_x , МэВ	эксп.	теор.
^{90}Zr	8,1-10,5	6,7	8,0	8-10	1620	1500
^{140}Ce	6,7-8,7	$7,5^{+3,0}_{-2,1}$	10,4	7,5-10	6000 ± 600	5900
^{206}Pb	6,7-8,1	$19,2 \pm 2$	16,1	-	-	-
^{208}Pb	7,4-7,8	6,6(7,9)	16,6	6,1-8,4	8500 ± 750	9870

лучены в рассеянии поляризованных меченых фотонов. Эксперименты по поиску М1-резонанса с помощью рассеяния на большие углы электронов с энергией 30-80 МэВ, выполненные на тех же ядрах-мишенях несколько раньше, оказались неудачными. В § 3.3 проанализированы причины этой неудачи. Проведенные методом искаженных волн с волновыми функциями КФМ расчеты сечений (e, e')-рассеяния показали, что в условиях упомянутых экспериментов с большей вероятностью возбуждаются состояния с $\Gamma^+ = 2^-$, их вклад в сечение маскирует Γ^+ -состояния и затрудняет обнаружение последних. Типичным примером в этом отношении являются данные для ^{140}Ce (рис.3). С ростом A отношение суммарных вероятностей возбуждения М1- и М2-состояний, расположенных при $E_x \approx 8\text{--}10$ МэВ, падает. Это объясняет, почему эксперименты с электронами оказались неэффективными именно в тяжелых ядрах. Исследовано также электровозбуждение изоскалярных Γ^+ -уровней в $^{206,208}\text{Pb}$. Расчеты удовлетворительно описывают поведение формфактора изоскалярного Γ^+ -состояния ядра ^{208}Pb при переданных импульсах $q_{\text{eff}} < 1 \text{ Фм}^{-1}$. На вероятность возбуждения изоскалярного Γ^+ -уровня в ^{206}Pb заметное влияние оказывают двухфононные примеси. Важную роль в обнаружении и изучении М1-резонанса сыграли эксперименты с протонами промежуточных энергий. Результаты расчетов сечений (p, p')-рассеяния при $E_p = 20\text{I}$ МэВ с возбуждением М1-резонанса в изотопах $^{90-96}\text{Zr}$ обсуждаются в § 3.4. Расчеты выполнены в импульсном приближении метода искаженных волн. При углах рассеяния $\theta < 4^\circ$ М1-состояния возбуждаются гораздо интенсивнее М2-состояний. Теоретическое значение вероятности возбуждения М1-резонанса оказыва-

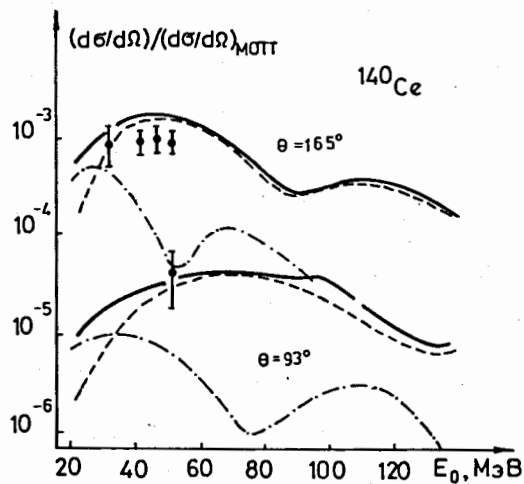


Рис. 3. Суммарные формфакторы электро-возбуждения однофононных состояний 1^+ (штрихпунктирные линии) и 2^- (пунктирные линии) из интервала энергии возбуждения $7,5 \leq E_x \leq 10$ МэВ в ^{140}Ce как функции энергии падающих электронов E_0 для углов рассеяния $\theta = 93^\circ, 165^\circ$. Сплошные линии - сумма М1- и М2-формфакторов.

мультипольных переходов в ядерных спектрах, существуют ли области ее повышенной концентрации, поставлен экспериментаторами, ответ на него необходим и для прояснения некоторых теоретических проблем. В § 4.1 изучено распределение вероятностей переходов для изоскалярных и изовекторных спин-дипольных ($r^2[\sigma Y_{1\mu}]_{JM}$, $J = 0, 1, 2$) и спин-квадрупольного ($r^2[\sigma Y_{2\mu}]_{JM}$) операторов, а для состояний с $J^\pi = 2^-$ исследовано еще и распределение вероятности $B(M2)$. Расчеты выполнены для ядер ^{90}Zr и ^{208}Pb как в ПСФ, так и с учетом взаимодействия одно- и двухфононных состояний. В ПСФ для всех исследованных мультипольностей и типов переходов существуют резонансные однофононные состояния, несущие значительную часть полной силы соответствующих переходов

ется заметно больше экспериментального и зависит от сложности модельной волновой функции резонанса. В расчетах с двухквасичастичной конфигурацией (в ^{90}Zr - частично-дрочной) $\left\{ 1g_{9/2} 1g_{7/2} \right\}^+$ отношение $q = \frac{\sigma_{\text{экср.}}}{\sigma_{\text{теор.}}} \approx 0,3$, для волновых функций ПСФ - $q \approx 0,6$, а после учета взаимодействия с двухфононными состояниями - $q \approx 0,7$. Таким образом, нуклонные корреляции играют важную роль в наблюдаемом подавлении силы М1-переходов, а значения факторов подавления М1-силы, следующие из данных (e, e') -рассеяния, рассеяния поляризованных меченых фотонов и (p, p') -рассеяния, согласуются между собой.

В четвертой главе обсуждаются результаты изучения спин-дипольных и спин-квадрупольного ($J^\pi = 1^+$) резонансов. Вопрос о том, как распределена сила спин-

(30-60% для изовекторных состояний и 25-50% - для изоскалярных). Концентрация силы изоскалярных переходов в резонансных областях ниже, чем изовекторных. Выделяются две области повышенной концентрации силы изоскалярных спин-дипольных переходов: $E_x \approx 8-10$ МэВ и $E_x \approx 14-16$ МэВ. Изоскалярные состояния, принадлежащие области, расположенной выше, имеют слабоколлективную структуру. Изовекторные резонансные состояния имеют коллективную структуру и довольно высокие энергии возбуждения: спин-дипольные расположены при $E_x \approx 17-20$ МэВ, спин-квадрупольный ($J^\pi = 1^+$) при $E_x \approx 25-30$ МэВ. Из-за взаимодействия со сложными конфигурациями сила резонансных переходов распределяется по интервалу ΔE_x порядка нескольких МэВ. Поэтому в результирующих распределениях силы спин-дипольных и спин-квадрупольных ($J^\pi = 1^+$) переходов отсутствуют ярко выраженные резонансные области. Что касается распределения силы М2-переходов, то расчеты в ПСФ указывают на существование двух областей концентрации М2-силы: $E_x \approx 9$ МэВ и $E_x \approx 17-20$ МэВ (второй максимум совпадает со спин-дипольным изовекторным 2^- -резонансом). Из-за взаимодействия с двухфононными состояниями второй максимум размывается, в то время как на характеристики резонанса при $E_x \approx 9$ МэВ это взаимодействие влияет слабо. Именно эта часть распределения М2-силы была обнаружена и исследована в экспериментах с электронами. Извлеченная из сечений электровозбуждения сила М2-переходов хорошо согласуется с теоретическими расчетами при $g_s^{\text{eff}} = 0,8 g_s^{\text{free}}$ (таблица I). В § 4.2 анализируются расчеты сечений (e, e') -рассеяния с возбуждением спин-мультипольных состояний, выполненные с учетом взаимодействия одно- и двухфононных состояний. Из-за сильной фрагментации изовекторных спин-дипольных и спин-квадрупольного резонансов в сечении (e, e') -рассеяния на большие углы при энергиях электронов несколько десятков МэВ будут наблюдаться только резонансные структуры, связанные с возбуждением М1- и М2-резонансов при $E_x \approx 9$ МэВ. В тяжелых ядрах при $E_0 > 30$ МэВ М2-резонанс маскирует возбуждение М1-резонанса. В ядрах с $A \leq 60$ удается разделить вклад 1^+ и 2^- -состояний. Анализ (e, e') -данных для ^{58}Ni показал, что теория удовлетворительно описывает измеренные суммарные формфакторы М1- и М2-возбуждений на интервалах $5,5 \leq E_x < 9,3$ МэВ и $9,3 \leq E_x \leq 11,2$ МэВ при $g_s^{\text{eff}} = 0,8 g_s^{\text{free}}$. Решающую роль в правильном описании экспериментальных данных играет взаимодействие однофононных состояний с двухфононными, так как расчеты в ПСФ не воспроизводят наблюдаемого распределения М1- и М2-силы в спектре ^{58}Ni . Существование высоколежащих резонансных 2^- -возбуждений проявляется и в свойствах низколежащих ядерных состояний, так как они определяют магнитную квадрупольную поляризуемость ядра. Этот вопрос исследован в § 4.3. Расчеты вероятностей М2-переходов между состоя-

ниями $11/2_{-}^{-}$ и $7/2_{+}^{+}$ в нескольких Z -нечетных ядрах из областей $A \approx 120$ и $A \approx 140$ и N -нечетных изотопах олова показали, что учет связи с резонансными $M2$ -состояниями уменьшает величину $B(M2, 11/2_{-}^{-} \rightarrow 7/2_{+}^{+})$ в 2-3 раза по сравнению с одночастичными оценками, причем необходимо учитывать вклад широкого спектра 2^{-} -фононов вплоть до энергий ~ 20 МэВ. Но указанное уменьшение $B(M2)$ оказывается в большинстве случаев все еще недостаточным для объяснения экспериментальных данных. Только в ^{209}Pb теоретическое значение вероятности $B(M2, 15/2_{-}^{-} \rightarrow 11/2_{+}^{+})$ при традиционных значениях g_{π}^{eff} согласуется с экспериментом. В то же время удается объяснить характерную зависимость $B(M2, 11/2_{-}^{-} \rightarrow 7/2_{+}^{+})$ в цепочке изотопов олова $^{109-121}\text{Sn}$ от массового числа. Эта зависимость связана с изменением чисел заполнения нейтронных одночастичных подоболочек $1h_{11/2}$ и $1g_{7/2}$ по мере изменения числа нейтронов.

В заключении суммированы основные результаты диссертации.

Результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы в работах:

1. Вдовин А.И., Соловьев В.Г. - Модель для описания фрагментации одно- и многочастичных состояний по уровням нечетного сферического ядра. - ТМФ, 1974, т.19, № 2, с.275-282.
2. Soloviev V.G., Stoyanov Ch., Vdovin A.I. - Semimicroscopic calculation of the level density in spherical nuclei. (Полумикроскопический расчет плотности уровней сферических ядер). - Nucl.Phys., 1974, v.A224, No.2, p.411-428.
3. Vdovin A.I. - Semimicroscopic calculation of the level density of atomic nuclei. (Полумикроскопический расчет плотности уровней атомных ядер). - In: Proc. of the Int.School on Nuclear Physics (Predeal, Romania, 1974), ed. by A.Ciocanel, Bucharest, 1976, p.361-380.
4. Вдовин А.И., Стоянов Ч., Кдин И.П. - Однофононные Γ^{+} -состояния в сферических ядрах. - Дубна, 1977. - 16 с. (Препринт ОИЯИ, P4-II081).
5. Вдовин А.И., Воронов В.В., Пономарев В.Ю., Стоянов Ч. - Влияние двухфононных примесей на свойства $M1$ -резонанса в сферических ядрах. - ЯФ, 1979, т.30, вып.4(10), с.923-932.
6. Ponomarev V.Ju., Soloviev V.G., Stoyanov Ch., Vdovin A.I. - Magnetic quadrupole resonance in spherical nuclei. (Магнитный квадрупольный резонанс в сферических ядрах). - Nucl.Phys., 1979, v.A323, No.2,3, p.446-460.
7. Вдовин А.И. - Резонансы и резонансо-подобные структуры в сферических ядрах. - Изв. АН СССР, сер.физ., 1979, т.43, № 10, с.2018-2032.

8. Soloviev V.G., Vdovin A.I. - Description of giant resonances within the quasiparticle-phonon nuclear model. (Описание гигантских резонансов в квазичастично-фононной модели ядра). - In: Proc. of the EPS topical conf. on large amplitude collective nuclear motions (Keszthely, Hungary, 1979), ed. A.Kiss, J.Nemeth, J.Zimanyi, Budapest, 1979, v.1, p.131-151.
9. Ponomarev V.Ju., Shilov V.M., Voronov V.V., Vdovin A.I. - On $M1$ - and $M2$ -strengths in ^{140}Ce . (О $M1$ - и $M2$ -силе в ^{140}Ce). - Phys. Lett., 1980, v.97B, No.1, p.4-6.
10. Вдовин А.И., Пономарев В.Ю. - Сепарабельные спин-мультипольные силы и магнитные резонансы в сферических ядрах. - Дубна, 1980. - 19 с. (Препринт ОИЯИ, P4-80-392).
11. Вдовин А.И., Пономарев В.Ю., Шилов В.М. - Электровозбуждение $M1$ - и $M2$ -резонансов в сферических ядрах. - ЯФ, 1981, т.34, вып.4(10), с.1009-1019.
12. Ponomarev V.Ju., Stoyanov Ch., Vdovin A.I. - High-lying $M1$ -states of spherical nuclei. (Высоколежащие $M1$ -состояния сферических ядер). - Z.Physik A - Atoms and Nuclei. 1982, v.308, No.2, p.157-163.
13. Вдовин А.И., Пономарев В.Ю. - Электровозбуждение магнитных резонансов в сферических ядрах. - В кн.: "Электромагнитные взаимодействия ядер при малых и средних энергиях. Труды У семинара, Москва, июнь 1981", М., ИЯИ АН СССР, Москва, 1982, с.63-71.
14. Ponomarev V.Ju., Stoyanov Ch., Vdovin A.I. - Magnetic dipole and quadrupole states of ^{58}Ni . (Магнитные дипольные и квадрупольные состояния ^{58}Ni). - J.Phys.G: Nucl.Phys., 1982, v.8, No.6, p.L77-L84.
15. Вдовин А.И., Соловьев В.Г. - Квазичастично-фононная модель ядра. III. Однофононные состояния в сферических ядрах. - ЭЧАЯ, 1983, т.14, вып.2, с.237-285.
16. Stoyanov Ch., Vdovin A.I. - High-lying single-proton states in spherical nuclei. (Высоколежащие одночастичные протонные состояния в сферических ядрах). - Phys.Lett., 1983, v.130B, No.3, 4, p.134-138.
17. Ponomarev V.Ju., Ershov S.N., Gareev F.A., Vdovin A.I. - Excitation of magnetic resonances in ^{90}Zr by the inelastic proton scattering. (Возбуждение магнитных резонансов в ^{90}Zr в неупругом рассеянии протонов). - Дубна, 1983. - 6 с. (Препринт ОИЯИ, E4-83-497).
18. Nguyen Dinh Thao, Soloviev V.G., Stoyanov Ch., Vdovin A.I. - Fragmentation of the $1f$ neutron hole strength in ^{89}Zr and ^{91}Mo . (Фрагментация силы нейтронной дырочной оболочки $1f$ в ^{89}Zr и ^{91}Mo). - J.Phys.G: Nucl.Phys., 1984, v.10, No.4, p.517-524.

19. Ponomarev V.Ju., Vdovin A.I., Shilov V.M., Nguyen Dinh Dang. - Transversal E1-resonance in spherical nuclei. (Трансверсальный E1-резонанс в сферических ядрах). - Physica Scripta, 1984, v.30, No.4, p.238-243.
20. Вдовин А.И., Стоянов Ч. - Затухание сильновозбужденных мод в нечетных ядрах, соседних с ^{90}Zr . - ЯФ, 1985, т.41, вып.5, с.1134-1140.
21. Vdovin A.I., Stoyanov Ch., Andrejtscheff W. - Core-polarization for M2-transitions in odd-A tin isotopes. (Поляризация остова для M2-переходов в A-нечетных изотопах олова). - Nucl.Phys., 1985, v.A440, No.3, p.437-444.
22. Вдовин А.И., Воронов В.В., Дао Тиен Кхоа. - Основные уравнения квазичастично-фононной модели ядра для нечетных сферических ядер. - ТМФ, 1985, т.64, № 2, с.259-268.
23. Вдовин А.И., Родригес О.О., Андрейчев В., Стоянов Ч. - M2-переходы между низколежащими состояниями нечетных ядер и магнитная поляризация остова. - Изв. АН СССР, сер.физ., 1985, т.49, № II, с.2173-2179.
24. Stoyanov Ch., Vdovin A.I., Voronov V.V. - Single-particle motion in spherical nuclei at high-excitation energy. (Одночастичное движение в сферических ядрах при высоких энергиях возбуждения). - В кн.: "Структура ядра. Труды Международной школы по структуре ядра, Алуста, 1985), Дубна, 1985, с.27-50, ОИЯИ, Д4-85-85I.
25. Vdovin A.I., Stoyanov Ch. - Strength functions of high-lying single-neutron states. (Силовые функции высоколежащих одночастичных нейтронных состояний). - In: "Neutron Induced Reactions. Proc. of the 4-th Int.Symposium, Smolenice, Czechoslovakia, 1985" ed. J.Krištiak, E.Bětak, VEDA, 1985, p.188-199.
26. Вдовин А.И., Стоянов Ч. - Изотопические эффекты в затухании высоковозбужденных одночастичных мод. - Дубна, 1986. - 18 с. (Препринт ОИЯИ, P4-86-8I).
27. Dao Tien Khoa, Ponomarev V.Ju., Vdovin A.I. - The isoscalar spin-spin interaction within the quasiparticle-phonon nuclear model. (Изоскалярное спин-спиновое взаимодействие в квазичастично-фононной модели ядра). - Дубна, 1986. - II с. (Препринт ОИЯИ, E4-86-198).
28. Andrejtscheff W., Stoyanov Ch., Vdovin A.I. - Core-polarization for magnetic transitions ($\lambda = 1, 2, 4$). (Поляризация остова и магнитные переходы ($\lambda = 1, 2, 4$)). - In: "Weak and Electromagnetic Interactions in Nuclei. Proc. Int.Symposium, Heidelberg, 1986", ed. H.V.Klapdor, Springer-Verlag, 1986, p.31-38.
29. Вдовин А.И., Гареев Ф.А., Ершов С.Н., Пономарев В.Ю. - Влияние ядерной структуры на фактор подавления M1-резонанса в (p,p')-рассеянии. - ЯФ, 1987, т.45, вып.2, с.388-395.
30. Ponomarev V., Vdovin A., Velchev Ch. - Magnetic dipole states in ^{206}Pb . (Магнитные дипольные состояния в ^{206}Pb). - J.Phys.G: Nucl. Phys., 1987, v.13, No.12, p.1523-1530.

Рукопись поступила в издательский отдел
I апреля 1988 года.