

П-563

4-82-275

ПОНОМАРЕВ  
Владимир Юрьевич

ВЫСОКОВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ  
АНОМАЛЬНОЙ ЧЕТНОСТИ  
В СФЕРИЧЕСКИХ ЯДРАХ

Специальность 01.04.16 – физика атомного ядра  
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1982

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики  
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:  
кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

А. И. ВДОВИН

Официальные оппоненты:  
доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник

Р. А. ЭРАМЖАН

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

Н. Г. ГОНЧАРОВА

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Физико-энергетический институт, г. Обнинск

Автореферат разослан "12" мая 1982 года.

Защита диссертации состоится "16" июня 1982 года на  
заседании Специализированного совета КО.47.01.01 Лаборатории  
теоретической физики Объединенного института ядерных исследований,  
г. Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

В. И. КУРАВЛЕВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

На протяжении последних двух десятилетий в теоретической ядерной физике успешно применяются различные полумикроскопические модели. Относительная простота, позволяющая проводить численные расчеты и не только описывать уже имеющиеся экспериментальные данные, но и предсказывать новые эффекты, сочетается в них с фундаментальной обоснованностью базовых физических предпосылок. Полумикроскопические модели занимают выгодное промежуточное место между феноменологическими и собственно микроскопическими моделями, что и обусловило их широкое распространение. Одной из таких моделей является квазичастично-фононная модель ядра. Являясь продуктом развития сверхтекучей модели ядра, созданной в начальный период интенсивного теоретического изучения низколежащих ядерных возбуждений, она была с успехом использована при изучении ядерных возбуждений промежуточной и высокой энергии. С ее помощью был проанализирован широкий комплекс экспериментальных данных о гигантских мультипольных резонансах, нейтронных и радиационных силовых функциях, глубоколежащих дырочных состояниях. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с экспериментом как для сферических, так и для деформированных ядер. Изучение высоколежащих состояний ядер существенно расширило наши знания о структуре ядра в целом, привело к совершенствованию ядерных моделей.

В настоящее время большое внимание и теоретиков и экспериментаторов привлекают высоковозбужденные состояния аномальной четности. Эти исследования существенно уточняют наши знания о тех свойствах ядер, которые связаны со спиновыми и спин-изоспиновыми компонентами эффективных межнуклонных сил в ядре. Основная экспериментальная информация о состояниях аномальной четности получена из анализа данных неупругого рассеяния электронов на большие углы,  $(n, \gamma)$  и  $(\gamma, n)$ -реакций. Недавние экспериментальные результаты поставили, в частности, перед теорией серьезную проблему о существовании  $M1$ -резонанса в

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

тяжелых ядрах. Несмотря на то, что был предпринят целый ряд попыток разрешения этой проблемы, пока не удалось достичь полной ясности. Это, естественно, вызывает дополнительный интерес к состояниям аномальной четности. В свете возникшей дискуссии о MI-резонансе большую актуальность приобретают такие теоретические исследования магнитных резонансов, в которых рассматриваются не только их энергетическое положение и чисто структурные характеристики, типа  $B(M)$  или спектроскопических факторов, но и непосредственно вероятности возбуждения резонансов в тех или иных ядерных реакциях. Непосредственный расчет величин, измеряемых на эксперименте, более последователен, поскольку исключается посредничество тех ядерных моделей, к которым прибегают экспериментаторы при обработке полученных данных.

Цель работы - детальное изучение свойств состояний аномальной четности широкой группы четно-четных сферических ядер в рамках квази-частично-фононной модели ядра: 1. Расчет и анализ вероятности возбуждения резонансных  $I^+$ - и  $2^-$ -состояний в реакции неупругого рассеяния электронов. 2. Изучение влияния взаимодействия однофононных состояний с двухфононными на свойства возбуждений аномальной четности. 3. Сравнение результатов теоретических расчетов с экспериментальными данными.

#### НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

В диссертации продемонстрированы широкие возможности квазичастично-фононной модели ядра по описанию высоковозбужденных состояний аномальной четности в сферических ядрах. Получен обширный материал о распределении силы MI- и M2-переходов и вероятности возбуждений  $I^+$ - и  $2^-$ -состояний в реакции неупругого рассеяния электронов в средних и тяжелых ядрах. Этот материал будет полезен при постановке экспериментов.

Проделанные расчеты и сравнение их с имеющимися экспериментальными данными позволили определить параметры спиновых компонент эффективного взаимодействия нуклонов в ядре, что представляет большую ценность для дальнейших исследований.

Расчитанные в диссертации токовые переходные плотности  $I^+$ - и  $2^-$ -состояний могут быть использованы для описания неупругого рассеяния элементарных частиц (электронов, протонов,  $\pi$ -мезонов) на ядрах, а также взаимодействия ядер с ядрами.

Большую ценность представляют расчеты матричных элементов взаимодействия одно- и двухфононных состояний. Они позволили определить, в каких случаях при описании состояний аномальной четности можно ограничиться приближением случайных фаз и когда без учета этого взаимодействия нельзя претендовать на адекватное описание физических явлений.

Новым вкладом являются исследования свойств высоколежащей ветви MI-резонанса. Показано, что в отличие от "обычного" MI-резонанса, который локализован в относительно узком интервале энергий, высоколежащий MI-резонанс имеет ширину  $\sim 5$  МэВ.

Впервые проведены расчеты сечения электровозбуждения состояний аномальной четности, описываемых волновой функцией, содержащей одно- и двухфононные компоненты. Для этих целей использована оригинальная формулировка метода силовых функций, что значительно упростило численные расчеты.

В диссертации предлагается объяснение причин неудачи экспериментов по поиску резонансных  $I^+$ -уровней в реакции неупругого рассеяния медленных электронов на большие углы.

#### ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВЫДВИГАЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ:

1. В рамках квазичастично-фононной модели ядра разработан формализм, позволяющий описывать возбужденные состояния аномальной четности средних и тяжелых сферических ядер. С его помощью свойства этих состояний в широкой области энергии возбуждения исследованы как в рамках приближения случайной фазы, так и с учетом взаимодействия одно- и двухфононных состояний.

2. Получено распределение силы MI- и M2-переходов в спектрах большого числа сферических ядер. Показано, что в средних и тяжелых ядрах существует только одна область концентрации силы M2-переходов с шириной в несколько МэВ, величина которой возрастает с ростом A. Теоретические значения суммарной силы M2-переходов для  $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{140}\text{Ce}$  и  $^{208}\text{Pb}$  хорошо согласуются с экспериментом.

3. Получены выражения для токовых переходных плотностей однофононных состояний. Обнаружено, что токовые переходные плотности резонансных  $I^+$ -состояний имеют поверхностный характер, а токовые переходные плотности  $2^-$ -состояний - объемный.

4. Расчет сечения электровозбуждения  $I^+$ - и  $2^-$ -состояний показал, что вклад  $I^+$ -уровней в полное сечение рассеяния резко уменьшается с ростом энергии налетающих электронов  $E_0$  и атомным весом ядра-мишени. Показано, что имеющиеся экспериментальные данные по  $(e, e')$ -рассеянию на большие углы на ядре  $^{140}\text{Ce}$  не противоречат существованию в этом ядре двух-трех  $I^+$ -состояний с  $\sum B(M) \approx 10 \mu_N^2$ . Абсолютная величина суммарного сечения возбуждения  $I^+$ - и  $2^-$ -состояний этого ядра хорошо согласуется с экспериментальными значениями.

5. Разработан метод расчета силовых функций сечения электровозбуждения состояний, волновая функция которых содержит одно- и двухфононные компоненты.



6. Обнаружено, что расчеты в рамках приближения случайной фазы не позволяют правильно описать обнаруженное экспериментально положение  $1^+$ - и  $2^-$ -уровней в  $^{58}\text{Ni}$ . С учетом взаимодействия однофононных состояний с двухфононными получено адекватное описание экспериментальных данных.

7. В сферических ядрах при энергиях  $\bar{E}_x = 19+20$  МэВ существует локализованная в интервале шириной  $\Delta E_x \approx 5$  МэВ группа  $1^+$ -состояний, которые характеризуются малыми значениями величины  $B(M1)$ , но интенсивно возбуждаются в реакции неупругого рассеяния медленных электронов на большие углы.

### Апробация диссертации

Результаты, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, XXXI Сессии по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Самарканд, 1981 г.), У Семинаре "Электромагнитные взаимодействия ядер при малых и средних энергиях" (Москва, 1981 г.), IU школе молодых ученых ЕРФИ (Ереван, 1979 г.), XI конференции молодых ученых ИЯИ АН УССР (Киев, 1981 г.).

### Публикации

По материалам диссертации опубликовано семь статей.

### Объем работ

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 109 страниц машинописного текста, 23 рисунка, 6 таблиц и библиографический список из 79 названий.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит краткую характеристику полумикроскопических моделей ядра; показаны преимущества, обусловившие их широкое использование в изучении ядерной структуры. Представлен сжатый обзор экспериментального материала по возбуждению состояний аномальной четности в различных ядерных реакциях. Отмечается противоречие теоретических предсказаний с экспериментом относительно существования  $M1$ -резонанса в тяжелых ядрах. Ставится задача описания состояний аномальной четности сферических ядер в рамках квазичастично-фононной модели ядра.

В первой главе развивается математический аппарат квазичастично-фононной модели ядра применительно к состояниям аномальной четности.

В § I дана формулировка модели, обсуждаются основные физические и математические приближения. В рамках приближения случайной фазы получены уравнения для определения энергии и структуры однофононных возбуждений аномальной четности, которые генерируются эффективными сепарабельными спин-мультипольными силами вида

$$V_{\lambda-1\lambda}(\vec{z}_1, \vec{z}_2) + V_{\lambda+1\lambda}(\vec{z}_1, \vec{z}_2) = \frac{1}{2} \sum_{L=\lambda \pm 1} (\chi_{\lambda_0}^{(L\lambda)} + \chi_{\lambda_1}^{(L\lambda)}) \tau_1^L \tau_2^L \sum_{\mu} (-)^{\lambda-\mu} [\vec{z}_1 Y_L(\Omega_1)]_{\lambda\mu} [\vec{z}_2 Y_L(\Omega_2)]_{\lambda-\mu}.$$

В предельном случае  $\chi^{(\lambda+1,\lambda)} \rightarrow 0$  полученные уравнения переходят в традиционно используемые в квазичастично-фононной модели уравнения для случая, когда состояния аномальной четности генерируются только силами  $V_{\lambda-1\lambda}(\vec{z}_1, \vec{z}_2)$ .

В § 2 рассмотрено описание взаимодействия однофононных состояний с двухфононными. Возбужденные состояния описываются волновой функцией

$$\Psi_V(JM) = \left\{ \sum_i R_i^V(J) Q_{JM_i}^+ + \sum_{\lambda_1 \lambda_2} P_{\lambda_1 \lambda_2}^{A_i} (J_V) [Q_{\lambda_1 \mu_1 i}^+ Q_{\lambda_2 \mu_2 i}^+] \right\} |\Psi_0\rangle,$$

содержащей одно- и двухфононные компоненты ( $Q_{\lambda \mu i}^+$  - оператор рождения фонона;  $\Psi_0$  - волновая функция основного состояния четно-четного ядра, фононный вакуум). Представлены секулярное уравнение для определения энергии  $\eta_{J_V}$  состояний, описываемых этой волновой функцией, выражения для коэффициентов  $R_i^V(J)$  и  $P_{\lambda_1 \lambda_2}^{A_i}(J_V)$ . Получено выражение для матричного элемента взаимодействия одно- и двухфононных состояний  $U_{\lambda_1 \lambda_2}^{A_i}(J_i)$ . Кратко изложен метод силовых функций, позволяющий заметно упростить численные расчеты различных физических характеристик возбужденных состояний, описываемых волновой функцией  $\Psi_V(JM)$ .

В § 3 обсуждаются параметры модельного гамильтониана и величина эффективного  $q_s$ -фактора, входящего в выражение для ядерного тока. Приведены параметры потенциала Вудса-Саксона, величины констант спаривательного взаимодействия и константы остаточных мультипольных и спин-мультипольных сил, которые в дальнейшем используются в численных расчетах.

Вторая глава посвящена изучению свойств состояний аномальной четности в рамках приближения случайной фазы.

В § I представлены результаты расчетов энергии и структуры однофононных  $1^+$ - и  $2^-$ -состояний, приведенных вероятностей  $M1$ - и  $M2$ -переходов. Расчеты выполнены для широкой группы ядер. Отметим, что в приближении случайной фазы  $M1$ -резонанс представлен  $2+3$  состояниями, расположенными при энергии возбуждения  $6+10$  МэВ.  $M2$ -резонанс формируется значительно большим числом однофононных состояний. В ядрах с

55 < A < 100 основная часть M2-силы сосредоточена на группе 10+15 однофононных состояний, расположенных в интервале  $E_x = 8+12$  МэВ, и одиночном сильно коллективизированном 2<sup>-</sup>-уровне с  $E_x \sim 20$  МэВ. Ядра с A > 100 имеют одну область концентрации силы M2-переходов с шириной  $\sim 10$  МэВ. Анализируется зависимость результатов от величины констант остаточного спин-мультипольного взаимодействия. При использованных значениях  $g_s^{eff} = 0,8 g_s^{free}$  получено хорошее согласие  $\sum B(M2)_{теор.} \approx \sum B(M2)_{эксп.}$  для экспериментально исследованных интервалов  $\Delta E_x$  в  $^{90}Zr$ ,  $^{140}Ce$  и  $^{208}Pb$  (см. таблицу). Результаты расчетов сравниваются с аналогичными расчетами, выполненными в рамках теории конечных ферми-систем и MSI-модели. Анализ влияния остаточных сил  $V_{\lambda+1, \lambda}(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$  на результаты, полученные без их учета, показал следующее: а) влияние спин-квадрупольных и спин-октупольных сил на свойства соответственно 1<sup>+</sup>- и 2<sup>-</sup>-возбуждений при  $E_x < 10$  МэВ незначительно; б) учет спин-квадрупольных сил приводит к появлению коллективных 1<sup>+</sup>-состояний при  $E_x \approx 20$  МэВ.

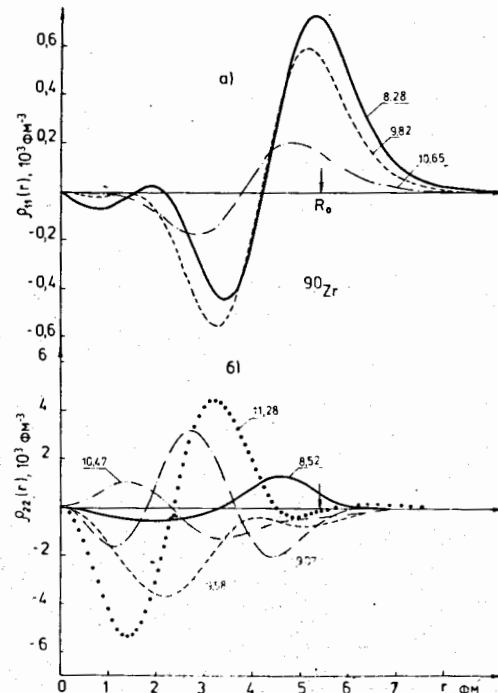
**Таблица.** Экспериментальные и теоретические значения суммарной M2-силы в интервале  $\Delta E_x$  для некоторых сферических ядер

	$^{90}Zr$	$^{140}Ce$	$^{208}Pb$
$\Delta E_x, \text{МэВ}$	8+10	7,5+10	6,1+8,4
$\sum B(M2)_{эксп.}, \mu_N^2 \text{ ф.м.}^2$	1100 $\pm$ 100	6000 $\pm$ 600	8500 $\pm$ 750
$\sum B(M2)_{теор.}, \mu_N^2 \text{ ф.м.}^2$	1090	4500	9700

В § 2 рассматривается возбуждение однофононных 1<sup>+</sup>- и 2<sup>-</sup>-состояний в реакции неупругого рассеяния медленных электронов на большие углы. Представлены выражения для токовых переходных плотностей состояний аномальной четности. Обнаружено, что токовые переходные плотности 1<sup>+</sup>-возбуждений имеют поверхностный характер, а 2<sup>-</sup>-возбуждений - объемный (рис. 1). Исследуется изменение вклада отдельных однофононных состояний в сечение рассеяния в зависимости от величины переданного импульса  $q$ , массового числа A. Показано, что вклад 1<sup>+</sup>-состояний резко уменьшается с увеличением  $q$  (рис. 2) и увеличением A (рис. 3). Анализируются данные (e, e')-экспериментов, в которых в  $^{140}Ce$  не было обнаружено ни одного 1<sup>+</sup>-уровня с величиной  $B(M1) \geq 2 \mu_N^2$ . Отмечается, что выводы авторов эксперимента нельзя признать окончательными; показано, что полученные данные не противоречат существованию в  $^{140}Ce$  двух-трех 1<sup>+</sup>-уровней с  $\sum B(M1) \approx 10 \mu_N^2$ . Суммарный формфактор 1<sup>+</sup>- и 2<sup>-</sup>-состояний лучше соответствует ходу экспериментальных точек, нежели один M2-формфактор (рис. 4). Предложены условия эксперимента, позволяющего надежно выделить 1<sup>+</sup>-уровни на фоне 2<sup>-</sup>-возбуждений.

Рис. 1

Токовые переходные плотности однофононных состояний аномальной четности ядра  $^{90}Zr$ : а) состояния с  $J^\pi = 1^+$ ; б) состояния с  $J^\pi = 2^-$ ; цифрами обозначены энергии состояний в МэВ; стрелка показывает значение радиуса ядра.



В § 3 изучается высоколежащая ветвь MI-резонанса. Показано, что при  $E_x > 15$  МэВ расположены 1<sup>+</sup>-состояния, которым соответствует малое значение величины  $B(M1)$ , но которые интенсивно возбуждаются в (e, e')-рассеянии назад. Они формируют так называемый 2 $\hbar\omega$  MI-резонанс. В  $^{208}Pb$  высоколежащий MI-резонанс представлен группой неколлективных 1<sup>+</sup>-уровней в интервале 17+22 МэВ и одиночным коллективным 1<sup>+</sup>-уровнем, положение и структура которого очень чувствительны к величине константы спин-квадрупольного взаимодействия. Рассмотрены переходные плотности высоколежащих 1<sup>+</sup>-состояний. В отличие от токовых переходных плотностей 1<sup>+</sup>-состояний, формирующих "обычный" MI-резонанс, они имеют объемный характер. Проводится сравнение с результатами расчетов сечения электровозбуждения высоколежащих 1<sup>+</sup>-уровней в  $^{208}Pb$ , выполненных в рамках теории конечных ферми-систем.

В конце главы представлены основные выводы.

В третьей главе рассматривается влияние взаимодействия одно- и двухфононных состояний на результаты, полученные в приближении случайной фазы.

В § 1 изучается распределение силы M1- и M2-переходов по состояниям, описываемым волновой функцией  $\Psi_\nu(JM)$ . Обнаружено, что влияние двухфононных примесей на MI-резонанс в ядрах с магическим числом

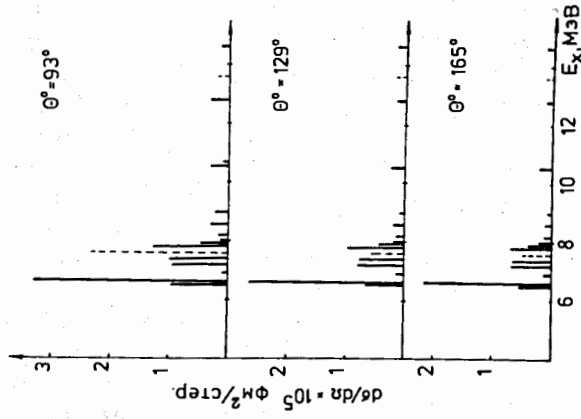


Рис. 2

Дифференциальные сечения электро-возбуждения однофононных состояний ядра  $^{58}\text{Ni}$  с  $J^\pi = 1^+$  (пунктирная линия) и  $J^\pi = 2^-$  (сплошная линия) для разных углов рассеяния  $\theta$  ( $E_0 = 40$  МэВ)

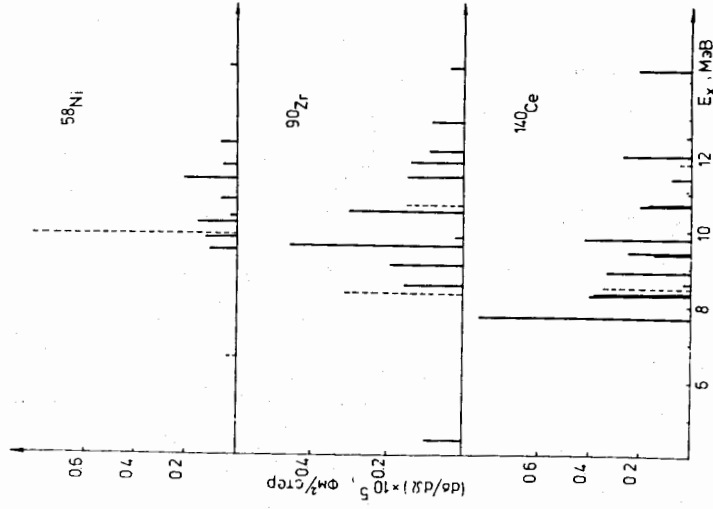


Рис. 3

Дифференциальные сечения электровозбуждения однофононных  $1^+$ - (пунктирная линия) и  $2^-$ - (сплошная линия) состояний некоторых сферических ядер:  $E_0 = 40$  МэВ,  $\theta = 165^\circ$ .

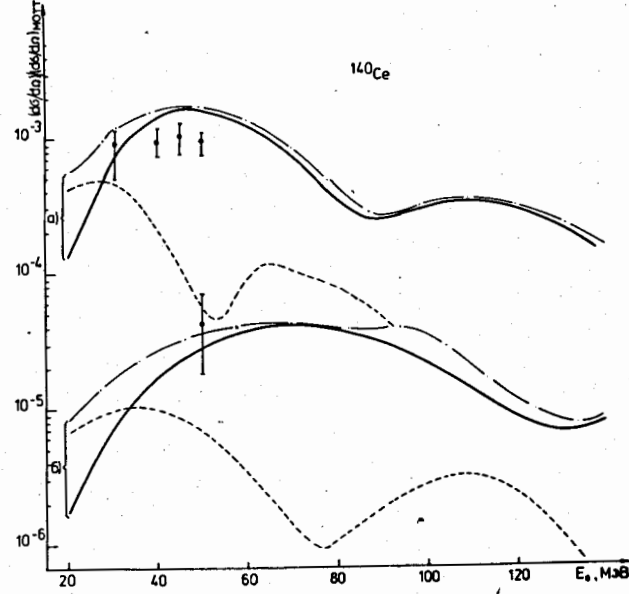


Рис. 4

Суммарные формфакторы однофононных состояний с  $J^\pi = 1^+$  (пунктирные линии) и  $J^\pi = 2^-$  (сплошные линии) ядра  $^{140}\text{Ce}$  из интервала  $7,5 < E_x < 10$  МэВ. Штрих-пунктирные линии - суммы M1- и M2-формфакторов. Кривые а) соответствуют углу рассеяния  $\theta = 165^\circ$ ; б) -  $\theta = 93^\circ$ .

нейтронов слабое, в других ядрах оно оказывает существенное влияние на распределение силы M1-переходов в области резонанса: происходит разброс M1-силы по энергетическому интервалу 1+2 МэВ, понижается центр тяжести резонанса на величину нескольких сотен кэВ. Отмечается, что среднее значение матричного элемента взаимодействия  $U_{\lambda,1,1}^{J^\pi}(J)$  для  $J^\pi = 2^-$  больше, чем для  $J^\pi = 1^+$ . Это, наряду с более высокой плотностью двухфононных  $2^-$ -состояний, приводит к более сильному изменению распределения силы M2-переходов. Во-первых, "разваливается" высоколежащее коллективное  $2^-$ -состояние в  $^{58}\text{Ni}$  и  $^{90}\text{Zr}$ . Как результат этого, получено важное заключение о том, что во всех сферических ядрах с  $55 < A < 210$  существует только одна область концентрации силы M2-переходов. Во-вторых, происходит перераспределение M2-силы внутри области резонанса в  $^{90}\text{Zr}$  и  $^{120}\text{Sn}$ , хотя ни положение резонанса, ни

область его локализации не изменяются. В  $^{58}\text{Ni}$  взаимодействие с двухфононными состояниями приводит к тому, что группа сильных  $2^-$ -возбуждений появляется при более низких энергиях по сравнению с результатами, полученными в приближении случайной фазы.

В § 2 рассмотрено электровозбуждение  $1^+$ - и  $2^-$ -состояний ядра  $^{58}\text{Ni}$ , описываемых волновой функцией  $\Psi_{\nu}(JM)$ . Показано, что метод силовых функций можно применить и для описания сечения  $(e, e')$ -рассеяния; получено выражение для соответствующей силовой функции. Анализированы данные эксперимента, в котором обнаружено, что в  $^{58}\text{Ni}$  в интервале  $5,5 < E_x < 9,3$  МэВ при неупругом рассеянии медленных электронов назад возбуждаются преимущественно состояния с  $J^{\pi}=2^-$ , а в интервале  $9,3 < E_x < 11,2$  МэВ – состояния с  $J^{\pi}=1^+$ . В расчетах в приближении случайной фазы получалось, что все сильные как  $1^+$ , так и  $2^-$ -состояния были локализованы во втором интервале. Только учет взаимодействия однофононных состояний с двухфононными позволяет получить согласие с экспериментом. В то же время лишь присутствие в обоих интервалах  $1^+$ - и  $2^-$ -уровней объясняет ход суммарного сечения как функции  $E_0$ : вклад  $1^+$ -состояний особенно важен при малых  $E_0$ , а при  $E_0 > 60$  МэВ сечение определяется вкладом  $2^-$ -уровней. Демонстрируется важная роль полноты двухфононного базиса в расчетах с волновой функцией  $\Psi_{\nu}(JM)$ .

В § 3 исследовано влияние взаимодействия однофононных  $1^+$ -состояний с двухфононными на свойства высоколежащей ветви M1-резонанса в  $^{90}\text{Zr}$  и  $^{208}\text{Pb}$ . Матричные элементы взаимодействия  $U_{\lambda_1\lambda_2}^{\lambda_3}(1i)$  в этом случае получаются небольшими. Поэтому несмотря на высокую плотность двухфононных состояний взаимодействие слабо изменяет результаты, полученные в приближении случайной фазы. Ни положение резонанса, ни область его локализации заметно не изменяются. Это в равной мере относится как к группе состояний из интервала  $17 < E_x < 22$  МэВ, так и к одиночному коллективному состоянию с  $E_x \approx 25+30$  МэВ. Чтобы понять причину отрицательного результата экспериментальных поисков высоколежащего M1-резонанса в ядре  $^{208}\text{Pb}$ , рассмотрена вероятность возбуждения в  $(e, e')$ -рассеянии назад  $2^-$ - и  $3^+$ -состояний с  $E_x > 12$  МэВ. Обнаружено, что присутствие состояний с  $J^{\pi}=2^-$  и  $3^+$  затрудняет выделение вклада  $1^+$ -возбуждений.

Глава заканчивается выводами, сделанными на основе выполненных расчетов.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

#### Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. 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, с. 923-932.
2. Ponomarev V.Ju., Soloviev V.G., Stoyanov Ch., Vdovin A.I. Magnetic quadrupole resonance in spherical nuclei. – Nucl.Phys., 1979, v. A323, Nos. 2,3, p. 446-460.
3. Пономарев В.Ю., Вдовин А.И. Сепарабельные спин-мультипольные силы и магнитные резонансы в сферических ядрах. – Дубна, 1980, 19 с. (Сообщение ОИЯИ: P4-80-392).
4. Ponomarev V.Ju., Shilov V.M., Vdovin A.I., Voronov V.V. On M1- and M2 strengths in  $^{140}\text{Ce}$ . – Phys.Lett., 1980, v. 97B, No.1, p.4-6.
5. Вдовин А.И., Пономарев В.Ю., Шилов В.М. Электровозбуждение M1- и M2-резонансов в сферических ядрах. – ЯФ, 1981, т. 34, вып. 4, с. 1009-1019.
6. Ponomarev V.Ju., Vdovin A.I. Electroexcitation of magnetic resonances in spherical nuclei. – Dubna, 1981, 12 p. (Preprint JINR: E4-81-796).
7. Вдовин А.И., Пономарев В.Ю., Стоянов Ч. Высоколежащие M1-состояния сферических ядер. – Дубна, 1981, 15 с. (Препринт ОИЯИ: P4-81-740).

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 апреля 1982 года.