

Н-379

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4-85-38

УДК 539.142/143

НГУЕН ДИНЬ ДАНГ

ПОПРАВКИ ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ
В КВАЗИЧАСТИЧНО-ФОНОННОЙ МОДЕЛИ
ДЛЯ ЧЕТНО-ЧЕТНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЯДЕР

Специальность: 01.04.16 – физика атомного ядра
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1985

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В изучении структуры атомных ядер на протяжении последних 20 лет широчайшим образом применяются различные микроскопические модели. Они позволяют не только анализировать и интерпретировать большое многообразие экспериментальных данных, но и предсказывать новые эффекты. Существенное расширение области применимости таких моделей доказало прочность их физических основ и практичность. Одной из микроскопических моделей является квазичастично-фононная модель ядра (КФМ). Основу для этой модели положило создание сверткеучей модели ядра при изучении низколежащих ядерных возбуждений в 60-х - начале 70-х годов. Квазичастично-фононная модель претендует на описание широкого круга свойств возбужденных состояний ядер в области промежуточных и высоких энергий возбуждения от 5 до 20-30 МэВ. В рамках КФМ удалось проанализировать обширный экспериментальный материал о spreading - ширинах (Γ) гигантских резонансов и глубоких дырочных состояний, о нейтронных и радиационных силовых функциях в сферических и деформированных ядрах.

В настоящее время КФМ претерпевает существенную эволюцию. Большую актуальность приобретают различные попытки устранить те ограничения, которые существуют в первоначальной формулировке КФМ. Это, в первую очередь, касается тех членов гамильтониана КФМ, которые имеют следующий порядок малости по отношению к уже учтенным. Количественные оценки вклада таких членов необходимы как для обоснования, так и для дальнейшего усовершенствования модели. В связи с новыми экспериментальными данными по (e, e') - и (p, p') -рассеянию повышенный интерес проявляется к изучению спиновых компонент остаточного взаимодействия нуклонов в ядре, в частности, к их роли в формировании ЕХ-состояний в сферических ядрах. При изучении взаимодействия одно- и двухфононных компонент в КФМ возникают вопросы о взаимодействии фононов (фононных корреляциях) в основном состоянии. Остается открытым вопрос о точном учете принципа Паули в двухфононных компонентах волновой функции возбужденных состояний четно-четных сферических ядер, его влиянии на результаты расчетов ширины гигантских резонансов. В связи с новыми экспериментальными исследованиями реакций с тяжелыми ионами и глубоководноупругих процессов большую актуальность представляет создание подходов, которые позволяют учесть взаимодействие со сложными конфигурациями в нагретых ядрах. Поэтому важным оказывается обобщение КФМ на случай конечной температуры (температурный формализм КФМ). Не последний инте-

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук
профессор

В.Г.СОЛОВЬЕВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

А.В.ИГНАТЮК

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

С.А.ФАЯНС

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт ядерных исследований АН СССР, Москва.

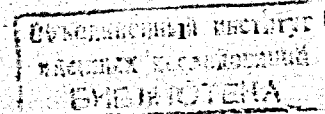
Автореферат разослан " " 1985 года

Защита состоится " " 1985 года на заседании Специализированного совета К 047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований (Московск. обл., г. Дубна).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

В.И.ЖУРАБЛЕВ



рес представляет сравнение КФМ с другими моделями, которые также широко применяются в современной теоретической физике.

цель работы - исследование в рамках КФМ поправок высших порядков при описании состояний электрического типа (ЕЛ-состояний) в четно-четных сферических ядрах:

1. Количественное изучение влияния спин-мультипольных сил на свойства однофононных ЕЛ-состояний: Расчет и анализ зарядовых и токовых переходных плотностей (ЗПП и ТПП), вероятностей возбуждения (в том числе и в неупругом электрон-ядерном рассеянии) этих состояний с учетом влияния спин-мультипольных сил на их структуру.

2. Оценки поправок к приближению хаотических фаз (ПХФ), которое используется при вычислении структуры фононов в КФМ.

3. Изучение взаимодействия одно- и двухфононных состояний. Вывод систем основных уравнений КФМ с учетом фононных корреляций в основном состоянии и принципа Паули при нулевой температуре; формулировка подхода, позволяющего точно учесть числа заполнения однофононных уровней при обобщении КФМ для описания нагретых ядер ($T \neq 0$); вывод систем основных уравнений КФМ с учетом фононных корреляций в основном состоянии и фононного рассеяния в температурном формализме; диаграммная интерпретация полученных основных уравнений КФМ и сравнение этих диаграмм с диаграммами теории ядерных полей (ТЯП) и теории конечных ферми-систем (ТКФС).

4. Оценки эффектов фононных корреляций в основном состоянии, принципа Паули и рассеяния фонона на фононе для схематических случаев. Расчеты гигантских мультипольных резонансов (ГМР) в четно-четных сферических ядрах с приближенным и точным учетом принципа Паули. Сравнение результатов расчетов ГМР с экспериментальными данными и с результатами ТЯП.

Научная новизна и практическая ценность

В диссертации продемонстрированы широкие возможности КФМ в изучении однофононных ЕЛ-состояний и описании взаимодействия одно- и двухфононных состояний в четно-четных сферических ядрах.

Большой интерес представляют расчеты ЗПП, ТПП и сечения неупругого (e, e') рассеяния для однофононных ЕЛ-состояний. Они позволяют выявить роль спин-мультипольных сил в формировании однофононных ЕЛ-состояний. Благодаря этим силам в области энергий возбуждения $E_x \approx 20$ МэВ во всех ядрах появляются сильно коллективизированные однофононные ЕЛ-состояния, образованные одночастичными переходами с переворотом спина.

Проделанные оценки членов гамильтониана, содержащих комбинации операторов рождения и уничтожения квазичастиц $(\alpha^+, \alpha) \sim \alpha^+ \alpha \alpha^+ \alpha$, позволяют определить предел применимости ПХФ в четно-четных ядрах.

Новым вкладом является дальнейшее развитие модели, с тем чтобы учесть такие физические эффекты, как фононные корреляции в основном состоянии и принцип Паули, и получить при этом систему основных уравнений модели, которая может быть использована для конкретных расчетов. Показана важность учета в ряде случаев как принципа Паули, так и фононных корреляций для корректного описания свойств низколежащих уровней. Точно учитывая числа заполнения однофононных уровней, удалось обобщить модель для описания взаимодействия одно- и двухфононных состояний в нагретых ядрах. С помощью диаграммной интерпретации проведено сравнение КФМ с другими моделями, а именно с ТЯП и ТКФС. Показано, что в этих моделях учтены одни и те же главные диаграммы.

Впервые проведены расчеты ГМР с точным учетом принципа Паули в двухфононных компонентах волновой функции возбужденных состояний четно-четных сферических ядер. Результаты расчетов хорошо воспроизводят экспериментальные данные. Проведено также сравнение с результатами ТЯП.

Для защиты выдвигаются следующие результаты:

1. Исследована роль спин-мультипольных компонент остаточного взаимодействия в формировании ЕЛ-состояний в сферических ядрах. Показано, что учет спин-мультипольных сил приводит к небольшому изменению распределения силы ЕЛ-переходов, но в ряде случаев влияет заметно на ТПП ЕЛ-состояний и может существенно изменить сечение электрон-ядерного рассеяния при больших углах. Благодаря спин-мультипольным силам в сферических ядрах в области энергий $E_x \approx 20$ МэВ возникают коллективные однофононные ЕЛ-состояния, образованные одночастичными переходами с переворотом спина.

2. Учет членов, содержащих комбинации $\sim \alpha^+ \alpha \alpha^+ \alpha$ в гамильтониане КФМ, приводит лишь к незначительным сдвигам однофононных энергий, полученных при решении секулярного уравнения в ПХФ для четно-четных сферических ядер.

3. Получены системы основных уравнений КФМ с учетом принципа Паули, фононных корреляций в основном состоянии и фононного рассеяния. Рассеяние фонона на фононе возникло при обобщении КФМ на случай точного учета чисел заполнения однофононных уровней при конечной температуре. Показано, что из этих систем можно получить, как частные случаи, уравнения, использованные в КФМ до сих пор. Оценки эффектов фононных корреляций в основном состоянии и точного учета прин-

ципа Паули, проведенные в схематической двухуровневой задаче, показали, что в немагических ядрах для правильного описания характеристик низколежащих состояний надо учесть оба эффекта. В области ГМР эти эффекты малы и их можно не учитывать. В пределах низких температур $T \ll 1$ МэВ хорошо применимо приближение о малости числа фононов в основном состоянии и, следовательно, в этой области хорошо работает бестемпературный формализм КФМ.

4. В рамках КФМ рассчитаны характеристики изовекторных гигантских дипольных и изоскалярных гигантских квадрупольных резонансов ряда сферических ядер. При этом точно учтен принцип Паули в двухфононных компонентах волновой функции возбужденного состояния. Показано, что точный учет принципа Паули оказывается практически эквивалентным учету принципа Паули, проведенному согласно приближенной процедуре, широко использованной до сих пор в расчетах КФМ.

5. Дана диаграммная интерпретация уравнений КФМ, которая позволяет сравнить КФМ с другими моделями, а именно с ТЯП и ТКФС. Показано, что диаграммы ТЯП получаются из диаграмм КФМ, если в последних проводится замена неколлективного промежуточного фонона двумя квазичастицами. В описании ГМР расчеты КФМ и ТЯП дают близкие результаты, что подтверждает тот факт, что в этих моделях учтены наиболее важные диаграммы.

Апробация диссертации

Результаты, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, Лаборатории ядерной физики Национального института ядерных исследований Социалистической Республики Вьетнам, XXXII (Киев, 1982 г.) и XXXIV (Алма-Ата, 1984 г.) Совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано шесть работ.

Объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 119 страниц машинописного текста, 21 рисунок, 13 таблиц и библиографический список литературы из 106 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит краткий очерк развития микроскопических моделей. Дана характеристика квазичастично-фононной модели ядра, показаны ее преимущества, обусловившие ее широкое применение в изучении структуры

средних и тяжелых ядер. Представлен сжатый обзор исследований, посвященных совершенствованию КФМ и указаны пока еще нерешенные проблемы. Сформулирована задача изучения поправок высших порядков в КФМ для четно-четных сферических ядер.

Первая глава посвящена изучению влияния спин-мультипольных сил на свойства возбужденных однофононных состояний электрического типа и оценкам поправок к ПХФ для четно-четных сферических ядер. В § 1 дана формулировка модели применительно к описанию однофононных ЕЛ-состояний. В рамках ПХФ получены уравнения для определения энергии и структуры однофононных ЕЛ-состояний, генерируемых сепарабельными мультипольными (H_{MV}) и спин-мультипольными (H_{SMV}) силами. Дана сводка формул, необходимых для вычисления ЗПП и ТПП, а также сечения неупругого (e, e') рассеяния в борновском приближении плоских волн.

В § 2 обсуждаются параметры модельного гамильтониана. Рассмотрены принципы выбора параметров потенциала Вудса-Саксона, величин констант остаточных мультипольных и спин-мультипольных сил, которые в дальнейшем используются в численных расчетах.

В § 3 представлен анализ расчетов характеристик ЕЛ-состояний с учетом спин-мультипольных сил для большой группы ядер. Рассчитаны величины приведенных вероятностей ЕЛ-переходов $B(E\lambda; 0^+ \rightarrow \lambda^{\pi})$, ЗПП и ТПП и сечения неупругого (e, e') рассеяния. Показано, что влияние спиновых компонент остаточного взаимодействия на энергии, структуру и величины $B(E\lambda; 0^+ \rightarrow \lambda^{\pi})$ нижайших однофононных ЕЛ-состояний в сферических ядрах невелико. При более высоких энергиях возбуждения ($E_x \gg 10$ МэВ) спин-мультипольные силы могут привести к большим изменениям структуры однофононных состояний. Они оказывают в ряде случаев заметное влияние на ТПП (рис. 1) и, следовательно, на дифференциальное сечение неупругого электрон-ядерного рассеяния на большие углы (рис. 2).

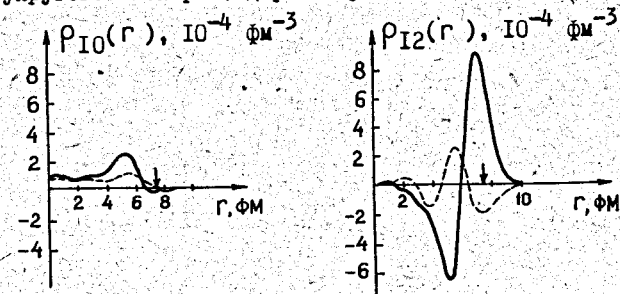


Рис. 1.

ТПП состояний $I^{-} 208Pb$, генерируемых силами H_{MV} ($\omega_1 = 14,7$ МэВ) (сплошная кривая) и $H_{MV} + H_{SMV}$ ($\omega_1 = 14,424$ МэВ) (пунктирная кривая). Стрелка показывает значение радиуса ядра.

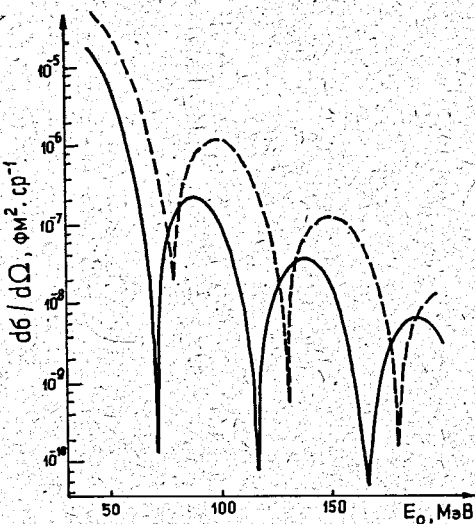


Рис. 2.

Сечение возбуждения состояний I^- в ^{208}Pb , генерируемых силами H_{MV} ($\omega_1 = 14,7$ МэВ) (сплошная кривая) и $H_{MV} + H_{SMV}$ ($\omega_1 = 14,424$ МэВ) (пунктирная кривая) в неупругом рассеянии электронов на угол $\theta = 180^\circ$.

Показано, что благодаря спин-мультипольному взаимодействию в сферических ядрах в области $E_x \approx 20$ МэВ возникают новые коллективные однофоновые $E\lambda$ -состояния, образованные одночастичными переходами с переворотом спина.

В § 4 проведены оценки части гамильтониана, содержащей комбинации $\sim \alpha^+ \alpha \alpha^+ \alpha$ (H_{BB}). В квазибозонном приближении получено выражение для среднего значения H_{BB} по однофоновому состоянию $\langle \Psi_0 | Q_{\lambda\mu i} H_{BB} Q_{\lambda\mu i}^+ | \Psi_0 \rangle$. Значения $\langle H_{BB} \rangle$ рассчитаны по теории возмущений для широкого круга ядер. Результаты расчетов позволяют сделать вывод, что учет членов, содержащих комбинации $\sim \alpha^+ \alpha \alpha^+ \alpha$ в гамильтониане КФМ, приводит лишь к незначительным сдвигам однофоновых энергий, полученных в ПХФ для четно-четных сферических ядер. Следовательно, ПХФ хорошо применимо для этой группы ядер (см. табл. I).

Таблица I

Энергии и $\langle \Psi_0 | Q_{\lambda\mu i} H_{BB} Q_{\lambda\mu i}^+ | \Psi_0 \rangle$ однофоновых состояний в ^{118}Sn (подгонка по величине $b(E2^+)$)

$\lambda^\pi = 2^+$			$\lambda^\pi = 3^-$		
E, МэВ	$\langle H_{BB} \rangle$, МэВ	$\langle H_{BB} \rangle / E, \%$	E, МэВ	$\langle H_{BB} \rangle$, МэВ	$\langle H_{BB} \rangle / E, \%$
1,400	0,0161	1,15	2,310	0,0064	0,28
2,640	0,0058	0,22	3,279	0,0201	0,61
2,738	0,0115	0,42	5,549	0,0098	0,18
3,056	0,0046	0,15	6,770	0,0177	0,26

В конце главы представлены выводы.

Вторая глава посвящена дальнейшей разработке аппарата КФМ при изучении взаимодействия одно- и двухфоновых состояний.

В § I получена система основных уравнений КФМ с учетом принципа Паули и фоновых корреляций в основном состоянии при нулевой температуре. Для этого использованы точные коммутационные отношения между фоновыми операторами, которые учитывают фермионную структуру фононов. Взаимодействие фононов в основном состоянии учтено с помощью введения новой вариационной функции возбужденного состояния:

$$\Psi_\tau(JM) = \Theta_{JM\tau}^+ \Psi'_0 \equiv \sum_\nu | \xi_\nu^{J\tau} Q_{JM\nu}^+ - (-)^{J-M} \xi_\nu^{J\tau} Q_{J-M\nu} | \Psi'_0,$$

где

$$Q_{JM\nu}^+ = \sum_i R_i(J) Q_{JM_i}^+ + \sum_{\lambda_1\mu_1} \sum_{\lambda_2\mu_2} P_{\lambda_1\lambda_2}^{\lambda_1\lambda_2}(J) \langle \lambda_1\mu_1 \lambda_2\mu_2 | JM \rangle Q_{\lambda_1\mu_1}^+ Q_{\lambda_2\mu_2}^+,$$

$Q_{\lambda\mu i}^+$ - оператор рождения фонона,
 Ψ'_0 - основное состояние ядра, являющееся вакуумом относительно $\Theta_{JM\tau}^+$:

$$\Theta_{JM\tau}^+ \Psi'_0 = \Psi'_0 \Theta_{JM\tau}^+ = 0.$$

При выводе системы уравнений использованы метод линеаризации уравнений движения и предположение о малости числа фононов в основном состоянии: $\langle \Psi'_0 | Q^+ Q | \Psi'_0 \rangle \approx 0$. В секулярном уравнении, определяющем энергию возбужденных состояний $\Psi_\tau(JM)$, появляются неполюсные члены $\sim (\omega_{\lambda_1 i} + \omega_{\lambda_2 i} + \eta)^{-1}$, связанные с фоновыми корреляциями в основном состоянии. Показано, как из общей системы уравнений следуют, как частные случаи, уравнения, ранее использованные в КФМ.

В § 2 уравнения, полученные в § I, проиллюстрированы диаграммами. Эти диаграммы построены из вершин, соответствующих переходам из одного в два фонона (U), фоновым корреляциям в основном состоянии (V) и принципу Паули (K). Вершинам U соответствуют выражения $\sim \psi\psi, \psi\psi, \psi\psi$, вершинам V - выражения $\sim \psi\psi$, блокам K - выражения, ведущие члены которого $\sim \psi\psi\psi$, где ψ и $\bar{\psi}$ - прямые и обратные двухквантичные амплитуды в однофоновых волновых функциях, рассчитанные в ПХФ. Для высоколежащих однофоновых состояний $\psi \gg \bar{\psi}$, поэтому члены $\sim U$ являются ведущими. Вершины U, V и блок K показаны на рис. 3. Диаграммный словарь для КФМ в бестемпературном формализме представлен на рис. 4. Проведено сравнение диаграмм КФМ с диаграммами ТНП и ТКФС. Показано, что диаграммы ТНП можно получить из диаграмм КФМ путем замены одного промежуточного неколлективного фонона двумя квазичастицами, и что в двух подходах учтены наиболее важные диаграммы (рис. 4, в).

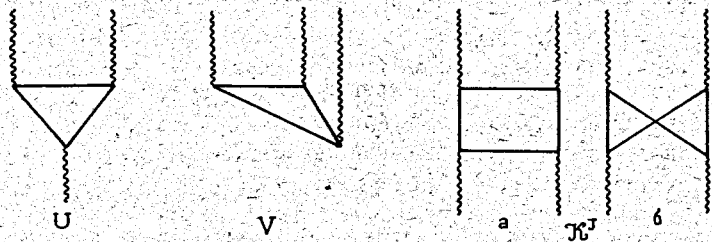


Рис. 3.

Диаграммы для U , V и \mathcal{K}^J (а - диагональные члены, б - недиагональные члены).

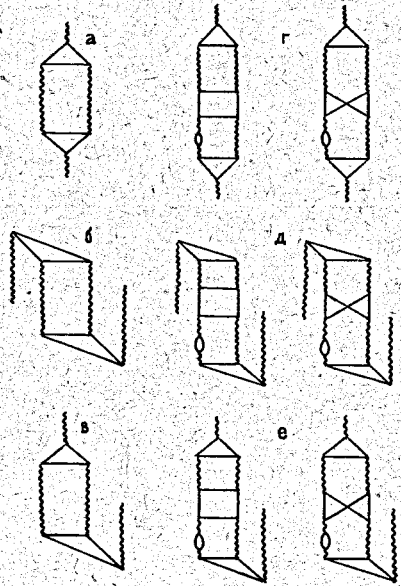


Рис. 4. Диаграммы, учитываемые в КФМ:

а - $\frac{U(k)U(k)}{\omega_1 + \omega_2 \neq \eta}$, б - $\frac{V(k)V(k)}{\omega_1 + \omega_2 \neq \eta}$, в - $\frac{U(k)V(k)}{\omega_1 + \omega_2 \neq \eta}$, г - $\frac{U(k)U(k)(1 + \mathcal{K}^J/2)}{\omega_1 + \omega_2 + \Delta\omega_{12} \neq \eta}$
 д - $\frac{V(k)V(k)(1 + \mathcal{K}^J/2)}{\omega_1 + \omega_2 + \Delta\omega_{12} \neq \eta}$, е - $\frac{U(k)V(k)(1 + \mathcal{K}^J/2)}{\omega_1 + \omega_2 + \Delta\omega_{12} \neq \eta}$

а, б, в - без учета принципа Паули; г, д, е - с учетом принципа Паули.

В § 3 проведено обобщение КФМ на случай конечной температуры ядра. При точном учете чисел заполнения однофононных уровней:

$$\nu_{li} = [\exp(\omega_{li}/T) - 1]^{-1}$$

получена система сцепляющихся уравнений для функций Грина с пропагаторами перехода из одного в два фонона, фононных корреляций в основном состоянии и фононного рассеяния. Последний показан на рис. 5 и соответствует выражениям $\sim \Psi\Phi(\nu_{li_1} - \nu_{li_2})$.

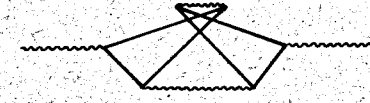


Рис. 5.

Пропегатор фононного рассеяния.

Установлено взаимно-однозначное соответствие между этой системой и системой уравнений для коэффициентов волновой функции возбужденного состояния в КФМ при конечной температуре. Показан переход от системы при $T \neq 0$ к системе при $T=0$. Отмечено появление членов $\sim (\omega_{li} - \omega_{li_1} - \eta)^{-1}$, характерных для фононного рассеяния, которые также были получены в рамках ТКФС. Осуществлен переход от диаграммы рис. 5 к диаграммам ТЯП.

В конце главы представлены выводы.

В третьей главе проведены оценки эффектов фононных корреляций в основном состоянии, принципе Паули и фононного рассеяния. Для этого рассмотрена схематическая двухуровневая задача, когда оператор Ω^+ имеет вид: $\Omega^+ = R^+ Q^+ + P^+ [Q^+ Q^+]$, где Q^+ - нижайший квадрупольный фонон. Проведен расчет собственно энергетических частей процессов перехода из одного в два фонона, фононных корреляций в основном состоянии и фононного рассеяния для коллективных мод, построенных из 2_1^+ и 2_6^+ фононов. В этой главе также проведены расчеты ГМР в четно-четных сферических ядрах с приближенным и точным учетом принципа Паули и результаты сопоставлений с результатами ТЯП.

Показано, что эффекты принципа Паули и фононных корреляций в основном состоянии работают в противоположные стороны (табл. 2), и в ядрах с сильно коллективизированными вибрационными состояниями следует учитывать оба эффекта для корректного описания свойств низколежащих уровней. В магических и околomagических ядрах влиянием фононных корреляций в основном состоянии можно пренебречь.

При температурах $T \ll 1$ МэВ (ядро слабо возбуждено) хорошо выполняется приближение малости числа фононов в основном состоянии, поз-

Таблица 2

Матричные элементы U и V и значения энергии состояний, описываемые волновыми функциями $\Phi_{JM}^+ \Psi_0'$ и $\Omega_{JM}^+ \Psi_0$, рассчитанные с приближенным (I) и точным (II) учетом принципа Паули

	$^{118}_{50}\text{Sn}_{68}$		$^{124}_{52}\text{Te}_{72}$		$^{144}_{62}\text{Sm}_{82}$		$^{148}_{62}\text{Sm}_{86}$	
	I	II	I	II	I	II	I	II
U	-0,460	-0,480	-0,016	-0,086	9,162	0,185	0,872	0,553
V	-0,089	-0,117	0,027	-0,005	0,009	0,025	0,264	0,188
ω	1,40		0,670		2,15		0,99	
$\eta_1(U)$	1,328	1,335	0,6698	0,667	2,1439	2,1442	0,694	0,906
$\eta_1(U,V)$	1,319	1,401	0,6682	0,966	2,1438	2,2262	0,484	1,180
2ω	2,80		1,340		4,30		1,98	
$\eta_2(U)$	2,872	3,015	1,340	1,803	4,3061	4,4639	2,276	2,556
$\eta_2(U,V)$	2,864	3,003	1,339	1,783	4,3060	4,4627	2,190	2,509

Примечание. Все значения даны в МэВ.
 Ψ_0 - фононный вакуум.

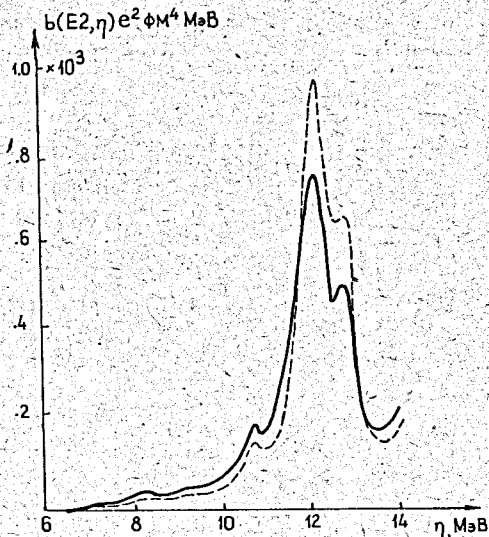


Рис. 6.
Силовые функции $b(E2; \eta)$ в ^{118}Sn , рассчитанные с точным учетом принципа Паули (сплошная кривая) и приближенным его учетом (пунктирная кривая).

тому можно пренебречь эффектом фононного рассеяния и, следовательно, хорошо применимы уравнения КФМ в бестемпературном формализме.

Показано, что приближенная процедура учета принципа Паули, широко используемая в КФМ, оказывается практически эквивалентной точному учету принципа Паули в расчетах ГМР (рис. 6): При описании ГМР различные теоретические схемы дают близкие результаты, однако в ряде случаев имеются заметные различия между экспериментальными данными, полученными с помощью разных реакций, и теоретическими расчетами.

Глава заканчивается выводами.

В заключении перечислены основные результаты диссертации, выдвигаемые на защиту.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Нгуен Динь Данг, Соловьев В.Г. Изучение поправок к приближению хаотических фаз в сферических ядрах. - Дубна, 1983, 14 с. (Сообщение ОИЯИ: Р4-83-325).
2. Нгуен Динь Данг, Пономарев В.Ю. Влияние спиновых компонент остаточных сил на свойства состояний электрического типа в сферических ядрах. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1983, т. 47, № II, с. 2147-2155.
3. Нгуен Динь Данг, Пономарев В.Ю. Влияние взаимодействия фононов на основное состояние четно-четных сферических ядер. - ТМФ, 1983, т. 57, № I, с. 154-160.
4. Воронов В.В., Нгуен Динь Данг. Основные уравнения квазичастично-фононной модели ядра с учетом принципа Паули и фононных корреляций в основном состоянии. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1984, т. 48, № 5, с. 857-865.
5. Воронов В.В., Нгуен Динь Данг, Пономарев В.Ю., Соловьев В.Г., Стоянов Ч. Описание гигантских мультипольных резонансов в сферических ядрах. - ЯФ, 1984, т. 40, вып. 3(9), с. 683-689.
6. Nguyen Dinh Dang: Equations of the Quasiparticle-Phonon Nuclear Model with the Phonon Scattering Effects at Finite Temperature. - Dubna, 1984, 16 p. (Preprint JINR: E4-84-481).
(Нгуен Динь Данг. Система уравнений квазичастично-фононной модели ядра с учетом рассеяния фононов при конечной температуре. - Дубна, 1984, 16 с. (Препринт ОИЯИ: E4-84-481)).

Рукопись поступила в издательский отдел
18 января 1985 года.