

С-443

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

УДК 539.101

СКОПЧИЧ Виктор Леонидович

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА УГЛОВЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ К РАСЧЕТУ  
ЯДЕР Р-ОБОЛОЧКИ

Специальность 01.04.16 -  
физика атомного ядра и элементарных частиц

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

ДУБНА 1991

Работа выполнена на кафедре теоретической физики физического факультета Тверского государственного университета.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, профессор А.М. ГОРБАТОВ

Официальные оппоненты - доктор физико-математических наук В.В. БЕЛЯЕВ

доктор физико-математических наук Г.П. Камунтавичюс

Ведущая организация - научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ.

Защита состоится " 3 " июля 1991 года  
в 15 час. 00 мин. на заседании специализированного совета К 047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна Московской обл.)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " 23 " июня 1991 г.

Ученый секретарь специализированного совета

А.Е. Дорохов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

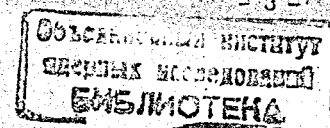
**Актуальность работы.** Одно из самых привлекательных направлений в современной теории ядра основано на использовании нерелятивистского уравнения Шредингера с единым пуототным нуклон-нуклонным ( $NN$ ) взаимодействием. К сожалению, квантовая теория поля на современном уровне не в состоянии дать строго количественное представление о сильном взаимодействии. Поэтому основным источником информации о  $NN$ -силах является фаза  $NN$ -рассеяния и свойства дейтрона.

К настоящему времени известные варианты реалистических  $NN$ -потенциалов, воспроизводящих перечисленные выше экспериментальные данные, отличаются между собой на малых и средних расстояниях. Дальнейшая конкретизация свойств  $NN$ -взаимодействия невозможна без подключения ядерных данных. В последние годы удалось использовать в этих целях свойства легчайших ядер  $^3\text{H}$ ,  $^3\text{He}$  и  $^4\text{He}$ , благодаря развитию прецизионных методов их расчета. Однако ввиду малого числа нуклонов и бедности спектров этих систем они слабо чувствительны к деталям взаимодействия. Поэтому микроскопический расчет более тяжелых систем - ядер р-оболочки, является актуальной задачей.

К настоящему моменту, наибольший успех в решении многочастичного уравнения Шредингера с реалистическим  $NN$ -взаимодействием достигнут при использовании базиса угловых потенциальных функций (УПФ) совместно с прямыми и обратными операторами парных корреляций (ОПК). Дальнейшее развитие этого направления связано с расширением базиса УПФ, самосогласованием ОПК, подключением ядер с незаполненными оболочками.

Ценную информацию о триплетных изоспинных составляющих взаимодействия могут дать расчеты тяжелых изотопов водорода и гелия. Однако большинство состояний этих систем не являются стационарными. Поэтому развитие микроскопического описания квазистационарных состояний, исходящего только из данных об  $NN$ -взаимодействии, является актуальной задачей.

Логика восстановления параметров феноменологического  $NN$ -потенциала с использованием ядерных данных подразумевает многократное повторение микроскопических расчетов многонуклонных систем. Это связано с большими затратами машинного времени. Поэтому развитие такого алгоритма восстановления потенциала, при ко-



тором минимизируется количество обращений к прямой ядерной задаче, имеет большое практическое значение.

Целью настоящей работы является дальнейшее развитие метода УПФ, а также прямых и обратных ОПК для микроскопического описания систем с большим числом частиц, его тестирования и применение к расчету связанных и квазистационарных состояний нуклонных систем р-оболочки с использованием реалистических  $NN$ -потенциалов.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые:

- в области ядер р-оболочки получены расчетные формулы для матрицы реалистического  $NN$ -взаимодействия в базе УПФ на основе разложения потенциала по многомерным гармоникам;
- найдены генеалогические связи между матрицами гамма-тоннана дважды магических и ближайших к ним ядер;
- установлены универсальные линейные соотношения между коэффициентами билинейно-инвариантной формы (БИИ)  $P$ -модели и коэффициентами основного приближения;
- учтены вклады субдоминантных диаграмм в волновую функцию и энергию связи системы;
- развита новая модель для описания распадов квазистационарных состояний на произвольное число фрагментов;
- получены аналитические соотношения для непосредственного сравнения интегрально-дифференциального подхода (ИПД) с методом УПФ;
- проведено самосогласование операторов парных корреляций в нечетных состояниях;
- предложен новый алгоритм восстановления  $NN$ -потенциала по фазам расщепления и свойствам легких ядер;
- выполнены микроскопические расчеты стационарных и квазистационарных состояний изотопов водорода и гелия р-оболочки с реалистическим  $NN$ -взаимодействием.

Научное и практическое значение работы

Развитый метод построения матрицы реалистического  $NN$ -взаимодействия с успехом может быть использован в расчетах ядер за пределами р-оболочки.

Самосогласование ОПК отдельно в четных и нечетных состояниях приводит к более детальному описанию волновой функции на малых расстояниях.

Алгоритм построения феноменологического  $NN$ -взаимодействия с привлечением ядерных данных может быть использован для уstra-

нения существующей неоднозначности в поведении радиальных частей потенциала на малых расстояниях.

Новая модель фазового перехода второго рода позволит рассчитывать время жизни квазистационарных состояний, исходя только из данных об  $NN$ -взаимодействии. Она легко обобщается на случай демократических распадов.

Теоретическое предсказание ярко выраженных резонансных состояний изотопов  $^9\text{He}$  и  $^{10}\text{He}$  дает основание для постановки экспериментов по их обнаружению.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Развита новая модель расчета матрицы реалистического  $NN$ -взаимодействия для тяжелых ядер р-оболочки.
2. Погрешность интегрально-дифференциального подхода в области ядер р-оболочки для реалистического  $NN$ -взаимодействия составляет не менее 10%.
3. Погрешность в определении энергии связи методом УПФ с использованием самосогласованных ОПК составляет  $\sim 1\%$ .
4. Новые уравнения для операторов парных корреляций в нечетных состояниях существенно улучшают охлещимость гиперсферического разложения волновой функции.
5. Установлено, что потенциальная модель (уравнение Шредингера с парным взаимодействием) воспроизводит аномальное поведение энергий связи ядерностабильных изотопов гелия р-оболочки.
6. Новая модель фазового перехода второго рода хорошо воспроизводит экспериментальные ширины распадов легких ядер.
7. Микроскопические расчеты тяжелых изотопов  $^9\text{He}$  и  $^{10}\text{He}$  свидетельствуют о существовании ярко выраженных резонансов в этих системах с шириной уровня  $\Gamma \sim 0,7 \text{ МэВ}$ .
8. Аномальное поведение энергий связи изотопов водорода р-оболочки ( $^4\text{H}$ ) не обнаружено.

Апробация работы. Настоящая работа докладывалась на Международном совещании по теории малочастичных кварк-адронных систем (Дубна, 1987 г.), Международном семинаре "Микроскопические методы в теории систем нескольких частиц" (Калинин, 1988 г.), Международном совещании по мультинейтронным системам (Дубна, 1989 г.), XXXIX Международном совещании по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (Ташкент, 1989 г.), Международной школе-семинаре по физике тяжелых ионов (Дубна, 1989 г.), XII Европейской конференции по системам нескольких частиц (Узгород, 1990 г.).



Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, которые перечислены в конце автореферата. О собственном вкладе автора в работах, выполненных в соавторстве, отмечено в диссертации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и двух приложений. Она изложена на 170 страницах машинописного текста, включающих 5 рисунков, 22 таблицы и список литературы из 61 наименования.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении характеризуется современное состояние и место рассматриваемой проблемы в микроскопической теории ядра. Показана актуальность избранной темы и кратко изложены основные результаты работы.

В главе I развивается новый математический аппарат построения матрицы реалистического  $NN$ -взаимодействия для ядер р-оболочки.

В § I исходное  $NN$ -взаимодействие разлагается по многомерным симметричным гармоникам, так что матричные элементы (м.э.) сводятся к интегралам от произведения трех гиперсферических функций. Последние записываются с помощью производящих функций, чтобы выполнить интегрирование по многомерным углам в аналитическом виде. В результате реализации этой программы выражение для м.э. оказывается функцией большого числа промежуточных параметров. Таким образом основная тяжесть вычисления м.э. переносится на устранение указанных параметров с помощью различных дифференцирований, передающих структуру полиинтегральных гармоник.

В § 2,3 эта задача решается с помощью развития большого числа специальных приемов, в совокупности представляющих метод главных членов. В результате удалось избежать появления в окончательном выражении знакопеременных сумм высокой кратности и свести его к интегралам от произведения трех полиномов Якоби  $P_n^{(\alpha, \beta)}(x)$ . Таким образом, в области ядер р-оболочки был достигнут тот же уровень аналитического представления матрицы  $NN$ -взаимодействия, что и для легчайших ядер  ${}^3\text{H}$ ,  ${}^3,4\text{He}$ . В частности решен вопрос практической сложности разложения в методе УПФ.

Во второй главе исследуется структура волновой функции и м.э. гамильтониана.

В § 4 проводится сравнение (на аналитическом и численном уровнях) интегрально-дифференциального подхода (ИДП) с методом УПФ. Показано, что для систем "настоящих" фермионов (гипермомент  $K_{min} > 0$ ) класс функций ИДП существенно уже класса функций УПФ.

Конкретное сравнение проведено на примере ядра  ${}^{16}\text{O}$ . Оно показало, что указанный дефект в волновой функции ИДП является причиной потери  $\sim 10\%$  энергии связи даже для мягких реалистических  $NN$ -потенциалов.

В § 5 исследуется внутренняя структура м.э. гамильтониана. Интеграл от произведения трех гиперсферических функций, каждая из которых представляет сумму по всевозможным парам частиц, разбивается на группы топологически относительно слагаемых - диаграмм. Диаграммы, у которых совпадают пары частиц из обеих потенциальных гармоник (ПГ), называются доминантными ( $DD$ ); если совпадают только пары частиц одной из ПГ и симметричной гармоники, то соответствующие слагаемые относятся к субдоминантным диаграммам ( $SD$ ).

Оказывается, вычисление  $SD$  можно свести к вычислению  $DD$ , если использовать малость вкладов  $SD$  в физические характеристики системы и потому пренебречь различием между волновыми функциями ИДП и УПФ.

Успех применения метода УПФ к расчету двадцатимассового ядра  ${}^{16}\text{O}$  во многом определялся возможностью разделения конфигурационных и спин-изоспиновых параметров при учете принципа Паули. Разделение этих переменных для систем, близких к двадцатимассовым, входило в задачу настоящей работы и было реализовано в § 6. Конечным продуктом этого параграфа являются генеалогические соотношения для основного узла м.э. - конфигурационного оператора групп систем  ${}^{15}\text{O} - {}^{16}\text{O}$ ,  ${}^9\text{Be} - {}^{10}\text{Be}$ ,  $7n - 8n$ .

В § 7 развивается идея самосогласования единственного свободного параметра теории операторов парных корреляций (ОПК) - их радиуса  $r_c$ , на случай нечетных состояний.

Как известно, в теории ОПК волновая функция записывается в виде

$$\psi = \hat{\theta} \tilde{\psi}$$

где  $\hat{V}$  есть произведение ОПК  $\hat{V}(i,j)$ , имеющих ту же структуру, что и исходное взаимодействие между частицами  $i, j$ . При этом  $\hat{V}(i,j) \equiv 1$ , если  $r_{ij} > r_0$ . Самосогласовать  $r_0$  в четных состояниях означает добиться равенства  $\hat{V} = const$  в области действия ОПК и тем самым, нейтрализовать поправки к эффективному гамильтониану. Соответствующее условие в нечетных состояниях, как показано в § 7, имеет другой вид -  $\hat{V} \sim r_{ij}$ . Это приводит к новым уравнениям для радиальных частей нечетных составляющих ОПК, в которых потенциал существенно экранируется кинетическим барьером.

§ 8 посвящен численной апробации математического аппарата, развитого в гл. I и II. В качестве объекта расчета выбрана самая тяжелая система р-оболочки - ядро  $^{16}O$ . Для тестирования метода использован центральный бесспиновый потенциал Мальфли-Тьона ( $MT-V$ ), доступный для метода функций Грина ( $MGFM$ ). Получено хорошее согласие с результатами  $MGFM$ .

В качестве реалистического  $NN$ -взаимодействия использованы различные варианты -  $GPT$ ,  $SSC_8$ ,  $RSC$ .

И на этом более высоком (см. ЯФ, т.40, с.882) уровне расчета также не удалось одновременно описать энергию связи и радиус ядра  $^{16}O$ .

Проведены методические исследования зависимости различных характеристик от радиусов действия ОПК, установлены их самосогласованные значения. Сделан сравнительный анализ вкладов различных диаграмм в энергию связи.

Глава III посвящена теоретическому исследованию мультинейтронных систем.

В § 9 развивается вариационная модель для описания времени жизни приготовленных состояний адронных систем. Получено интегродифференциальное уравнение для самого долгоживущего приготовленного состояния системы при заданном среднеквадратичном радиусе  $R$ . Для достаточно малых  $R$  оно сводится к уравнению сжимаемости

$$(\hat{H} + \lambda \rho^2) \Psi = E \Psi$$

где  $\hat{H}$  - гамильтониан системы, а  $\lambda$  и  $E$  - неопределенные множители Лагранжа. Решение  $\Psi$  этого уравнения ищется в виде суммы внутренней ( $\Psi_{in}$ ) и внешней ( $\Psi_{out}$ ) час-

тей (интерполяционный подход).

Получено явное уравнение для определения  $\lambda_{кр}$  и связанной с ней ширины резонанса

$$\Gamma = 2 \lambda_{кр} \sqrt{\rho^4 - \rho^{2a}}$$

где  $\rho^{2a}$  - среднее значение соответствующей степени гиперрадиуса  $\rho$  в момент зарождения новой фазы.

При некотором критическом значении  $\lambda = \lambda_{кр}$  происходит скачкообразное изменение состояния от  $\Psi_{in}$  к  $\Psi_{out}$  (фазовый переход второго рода).

Последовательно рассматриваются бинарные распады с одной бесструктурной частицей, произвольные бинарные распады и, наконец, распады на произвольное число (как нейтральных, так и заряженных) фрагментов в конечном канале.

Апробация модели проведена на хорошо известных бинарных распадах легких ядер. Получено хорошее согласие с экспериментом (таблица I).

Таблица I

Распад	$J^{\pi} T$	$\Gamma, \text{МэВ}$	$\Gamma_{\text{экс}}, \text{МэВ}$
${}^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{H}$	$7/2^- 1/2$	0,093	$0,093 \pm 0,008$
${}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{D}$	$2^+ 0$	0,407	$0,350 \pm 0,150$
${}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{D}$	$1^+ 0$	1,47	$1,5 \pm 0,2$

В § 10 рассмотрены методы расчета внутренней части волновой функции  $\Psi_{in}$  для большой совокупности изотопов водорода и гелия. В строгих расчетах гл. I и II делается серия контролируемых приближений и получается так называемая П-модель.

Найдены простые линейные соотношения между комбинаторными коэффициентами ее билинейно-инвариантной формы и основного приближения  $k = K_{min}$ , что на порядок сократило объем вычислений.

Проведение конкретных расчетов, тем более связанных с предсказанием свойств еще неизученных систем, задерживалось потому, что ни один из известных вариантов реалистического  $NN$ -потенциала не воспроизводил энергии связи стабильных ядер р-оболочки.

В § 10 найден простой выход из сложившейся ситуации. Использо-

зована слабая чувствительность самосогласованных радиусов ОПК к варианту потенциала и к числу частиц ввиду насыщения ядерных сил. Поэтому предложено определять константы перенормировки потенциала теории ОПК по энергии связи ядер, а затем использовать их как дополнительные условия при восстановлении радиальных частей потенциала (в области действия ОПК) по фазам рассеяния.

§ II посвящен численной реализации алгоритмов §§ 9-10 в области р-оболочечных систем.

Сначала устанавливается перенормированный потенциал  $V_{cut}$  (играющий роль взаимодействия в динамическом уравнении для  $\Psi$ ) по энергиям связи стабильных ядер  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^7\text{Li}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ . Затем с помощью алгоритмов гл. I и II подтверждается высокая точность II-модели для этого потенциала на примере ядра  ${}^{16}\text{O}$ , и далее эта модель применяется к расчету основных состояний изотопов водорода  ${}^4\text{H}$ - ${}^9\text{H}$  и гелия  ${}^5\text{He}$ - ${}^{10}\text{He}$ . Большинство изотопов (в частности  ${}^9\text{He}$ ,  ${}^{10}\text{He}$ ) оказались ядерно-нестабильными (см. табл. 2, 3; тяжелые изотопы  ${}^7\text{H}$ - ${}^9\text{H}$  вообще далеки от связанных состояний в базисе III и в табл. 2 не приводятся), поэтому рассчитывались ширины различных нейтронных распадов таких систем.

Таблица 2  
Энергии связи  $E$  и ширины уровней  $\Gamma$  основных состояний изотопов H

Ядро	$E$ , МэВ	$E_{\text{эсп}}$	$\Gamma$ , МэВ
${}^4\text{H}$ , $2^{-1}$	5,80	$5,8 \pm 0,6$	1,3
${}^5\text{H}$ , $5/2^{+3/2}$	2,48	-	6
${}^6\text{H}$ , $2^{-2}$	2,14	-	3,3

Таблица 3  
Энергии связи основных состояний изотопов He

	${}^5\text{He}$ , $3/2^{-1/2}$	${}^6\text{He}$ , $0^{+1}$	${}^7\text{He}$ , $3/2^{-3/2}$	${}^8\text{He}$ , $0^{+2}$	${}^9\text{He}$ , $1/2^{-5/2}$	${}^{10}\text{He}$ , $0^{+3}$
$E$ , МэВ	27,3	29,4	28,9	31,1	28,3	28,1
$E_{\text{эсп}}$	27,4	29,3	28,8	31,4	$29,6 \pm 0,6$	-

Подчеркнем, что в системе  ${}^6\text{H}$  нет ярко выраженного квазистационарного состояния, что совпадает с результатами эксперимента (см. Письма в ЖЭТФ, т.51, с. 607).

§ II завершают расчеты спектров ядер  ${}^6\text{He}$  и  ${}^8\text{He}$ .

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Важнейшие результаты работы перечислены в пунктах "Научная новизна работы" и "Основные положения, выносимые на защиту" раздела "Общая характеристика работы".

В работе также показано, что совместное использование метода УПФ и самосогласованных ОПК сохраняет высокую точность при переходе от  $S$  к р-оболочечным системам. Новый подход апробирован на различных потенциалах ( $GPT$ ,  $SSC_B$ ,  $RSC$  (локальный вариант),  $MT-V$ ).

Найдены полезные соотношения во внутренней структуре матричных элементов реалистического  $NN$ -взаимодействия в базисе УПФ, использованные в работе в качестве проверочных условий. Это обеспечило надежность полученных численных результатов.

Показано, что варьируя константы перенормировки  $NN$ -потенциала на малых расстояниях, можно описать энергии связи совокупности стабильных ядер р-оболочки ( ${}^{6+7}\text{Li}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{15+16}\text{O}$ ), не выходя из интервалов для констант, соответствующих известным вариантам реалистических  $NN$ -потенциалов. Последнее обстоятельство свидетельствует в пользу существования таких  $NN$ -сил, которые одновременно описывают данные  $NN$ -рассеяния, свойства дейтрона и энергии связи легких ядер.

В модели фазового перехода второго рода исследован процесс зарождения и формирования новой фазы. Найдены поправки к уравнению сжимаемости.

Найденные связи между коэффициентами БИФ и основного приближения позволили выполнить микроскопические расчеты одновременно всех изотопов водорода и гелия р-оболочки.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Горбатов А.М., Бурсак А.В., Калинин А.М., Скопич В.Л. и др. Микроскопический расчет системы  ${}^4\text{H}$  с реалистическим  $NN$ -взаимодействием // Препринт ОИЯИ Р4-67-75... Дубна: ОИЯИ, 1987. - 22 с.
2. Горбатов А.М., Крылов Ю.А., Никишов П.В., Скопич В.Л. и др.



Мультинейтронная система  $^4\text{H}$  в гиперсферическом базисе // ЯФ. - 1988, - Т.48. - С.1255-1259.

3. Горбатов А.М., Крылов Ю.Н., Скопич В.Л., Комаров П.В. Решение систем гиперрадиальных уравнений методом масштабных функций // Тезисы докладов Международного семинара "Микроскопические методы в теории нескольких частиц" - Калинин: КГУ, 1988. - С.78-80.

4. Горбатов А.М., Скопич В.Л., Крылов Ю.Н., Колганова Е.А. и др. Восстановление реалистического  $NN$ -взаимодействия по энергиям связи ядер р-оболочки // Теория квантовых систем с сильным взаимодействием. - Калинин: КГУ, 1988. - С.140-145.

5. Горбатов А.М., Скопич В.Л., Никишов П.Ю., Колганова Е.А. Коррекция параметров  $NN$ -потенциала по ядерным данным // Материалы Международного семинара "Микроскопические методы в теории систем нескольких частиц". - Калинин: КГУ, 1988. - Т.2. - С.55-59.

6. Горбатов А.М., Скопич В.Л., Никишов П.Ю. Расчет квазистационарных состояний изотопов водорода ( $A=4+9$ ) с реалистическим  $NN$ -взаимодействием // Материалы Международного семинара "Микроскопические методы в теории систем нескольких частиц" - Калинин: КГУ, 1988. - Т.2. - С.69-84.

7. Горбатов А.М., Скопич В.Л., Никишов П.Ю., Колганова Е.А. Изотопы гелия с  $A=5+10$  в методе угловых потенциальных функций // Материалы Международного семинара "Микроскопические методы в теории систем нескольких частиц". - Калинин: КГУ, 1988. - Т.2. - С.64-69.

8. Горбатов А.М., Комаров П.В., Крылов Ю.Н., Скопич В.Л. и др. Мультинейтронные системы в гиперсферическом базисе // ЯФ. - 1989, - Т.50. - С.347-356.

9. Горбатов А.М., Скопич В.Л., Колганова Е.А., Комаров П.В. Техника расчета субдоминантных диаграмм метода угловых потенциальных функций // Тезисы докл. 39-го Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. - Л.: Наука, 1989. - С.157.

10. Горбатов А.М., Скопич В.Л. Изотопы гелия  $^9\text{-}^{10}\text{He}$  в методе угловых потенциальных функций // Сборник аннотаций "Международной школы - семинара по физике тяжелых ионов". - Дубна: ОИИИ, 1989. - С.80.

11. Горбатов А.М., Скопич В.Л., Никишов П.Ю. Метод угловых

потенциальных функций. Время жизни квазистационарных состояний // ЯФ. - 1989, - Т.49. - С.144-155.

12. Горбатов А.М., Скопич В.Л., Никишов П.Ю., Пенцонжкович Ю.Э. Микроскопические расчеты изотопов водорода и гелия // ЯФ. - 1989, - Т.50. - С.1561-1561.

13. Горбатов А.М., Комаров П.В., Крылов Ю.Н., Скопич В.Л. Микроскопическое описание демократических распадов квазистационарных состояний // ЯФ. - 1990, - Т.51. - С.697-704.

14. Горбатов А.М., Скопич В.Л., Колганова Е.А. Метод угловых потенциальных функций. Оценка интегро-лифференциального подхода // Теория квантовых систем с сильным взаимодействием. - Тверь: ТГУ, 1990. - С.61-68.

15. Горбатов А.М., Скопич В.Л., Никишов П.Ю., Лучков В.А. Уравнения для нечетных составляющих операторов парных корреляций // Теория квантовых систем с сильным взаимодействием. - Тверь: ТГУ, 1990. - С.44-51.

16. Горбатов А.М., Скопич В.Л., Колганова Е.А., Крылов Ю.Н. и др. Метод кратных взаимодействий. Реалистический  $NN$ -потенциал // ЯФ. - 1991. - Т.53. - С.680-692.

*Ваше*