

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К-208

2-82-474

КАПШАЙ

Валерий Николаевич

РЕШЕНИЯ КВАЗИПОТЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ  
И СТРУКТУРНЫЕ ФУНКЦИИ ДВУХЧАСТИЧНЫХ СИСТЕМ

Специальность 01.04.02 – теоретическая  
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1982

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики  
Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник С.П.Кулешов

кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник Н.Б.Скачков

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник А.А.Богум

доктор физико-математических наук  
старший научный сотрудник А.Н.Сисакян

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт  
физики высоких энергий, Серпухов.

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1982 года

Защита диссертации состоится " " \_\_\_\_\_ 1982 года  
на заседании Специализированного совета КО47.01.01  
Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных  
исследований, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

В.И.Журавлев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Задача описания связанной системы является одной из централь-  
ных в физике элементарных частиц. Такое положение объясняется тем,  
что в настоящее время стало общепринятым представление об адронах  
как объектах, составленных из кварков и глюонов.

Вскоре после создания  $SU(3)$ -модели Н.Н.Боголюбовым была сфор-  
мулирована задача описания динамических свойств адронов на основе  
релятивистски-инвариантных уравнений для составных систем. В работах  
Н.Н.Боголюбова и сотрудников <sup>/1-3/</sup> были предложены модели, основан-  
ные на уравнениях Дирака и Бете-Солпитера, которые позволили объяс-  
нить ряд свойств мезонов и барионов.

Интерес к составным моделям особенно возрос после открытия  
семейств  $\Psi$ - и  $\Upsilon$ -частиц. Поскольку кварки, из которых состав-  
лены эти мезоны, являются тяжелыми, для описания их свойств перво-  
начально использовался формализм, основанный на уравнении Шредингера,  
несомненным достоинством которого является наличие ряда точных  
решений для различных потенциалов. Расчеты свойств систем  $c\bar{c}$ ,  $b\bar{b}$ ,  
проводившиеся в нерелятивистском приближении, в целом дают хорошее  
согласие с экспериментом. Однако при переходе к высоковозбужденным  
уровням, а также при рассмотрении легких мезонов, вклад релятивист-  
ских поправок заметно возрастает.

Удобным аппаратом для последовательного релятивистского описа-  
ния составных кварковых систем является одновременной квазипотен-  
циальный подход в квантовой теории поля, предложенный А.А.Логуновым  
и А.Н.Тавхелидзе <sup>/4/</sup>. В работах <sup>/5,6/</sup> было показано, что трехмер-  
ные релятивистские двухчастичные уравнения квазипотенциального типа  
возникают и при использовании гамильтоновой формулировки теории  
поля. Уравнения квазипотенциального подхода были с успехом применены  
для описания процессов высокоэнергетического рассеяния адронов с  
использованием представления об их составной природе <sup>/7,8/</sup> и для  
изучения связанной системы в электродинамике <sup>/9/</sup>. Несомненно ин-  
тересным и практически важным представляется нахождение точных  
решений квазипотенциальных уравнений с релятивистскими аналогами  
квантовомеханических потенциалов с целью их дальнейшего приме-  
нения для феноменологического описания различных составных систем

типа кваркония. Знание решений квазипотенциальных уравнений дает возможность описания не только спектров масс и упругих факторов частиц, но и процессов глубокоупругого лептон-адронного рассеяния.

Описание глубокоупругого рассеяния лептонов на адронах является одной из актуальных задач физики высоких энергий. Качественно эти процессы могут быть в определенной степени объяснены на основе партонной модели /10/. Существенный прогресс в описании глубокоупругих процессов был связан с применением расчетов по теории возмущений в квантовой хромодинамике. Эти расчеты позволяют объяснить наблюдающееся на опыте масштабно-инвариантное поведение структурных функций и отклонения от него. Однако в квантовой хромодинамике согласованная картина глубокоупругих процессов и процессов распада может возникнуть лишь в том случае, если часть наблюдающегося отклонения от скейлинга будет обусловлена степенными поправками, которые пока трудно поддаются изучению в рамках теории возмущений. Очевидно также, что степенные поправки к скейлингу могут возникнуть и при учете эффектов связанности кварков в адроне, что может быть достигнуто последовательным образом, например, при применении релятивистских квазипотенциальных волновых функций.

Цель работы состоит в нахождении решений ковариантных двухчастичных одновременных уравнений с квазипотенциалами, являющимися релятивистскими обобщениями широко используемых в нерелятивистской теории кваркония квантовомеханических потенциалов; развитии формализма для описания в квазипотенциальном подходе процессов глубокоупругого рассеяния лептонов на мезонах и изучении скейлингового и предскейлингового поведения структурных функций.

#### Научная новизна и практическая ценность

В диссертации впервые получены точные решения записанного в импульсном представлении интегрального уравнения Логанова-Тавхелидзе с квазипотенциалом, являющимся суперпозицией квазипотенциалов однобозонного обмена, который можно рассматривать как геометрическое обобщение кулоновского потенциала в смысле замены евклидовой геометрии импульсного пространства на геометрию Лобачевского.

Получен в импульсном представлении вид решений уравнения Логанова-Тавхелидзе в случае квазипотенциала, являющегося комбинацией геометрически обобщенного кулоновского потенциала и добавки, отвечающей введению отталкивания на малых расстояниях.

Найден новый класс квазипотенциалов, для которых уравнения Логанова-Тавхелидзе и Кадмиевского в импульсном пространстве сводятся к дифференциальным уравнениям второго порядка. Эти уравнения

решены точно в пределе нулевой массы связанного состояния (кираль-ный предел).

Для всех указанных выше квазипотенциалов построены волновые функции в релятивистском конфигурационном представлении, которые являются решениями разностных квазипотенциальных уравнений.

В релятивистском конфигурационном представлении вычислена парциальная функция Грина, отвечающая задаче о связанных состояниях, и получено однородное интегральное уравнение для волновой функции в этом представлении.

Найдены решения одномерного квазипотенциального уравнения Логанова-Тавхелидзе с линейным и кулоновским в релятивистском конфигурационном представлении потенциалами, а также решения соответствующих одномерных интегральных уравнений.

Получены волновые функции и условие квантования для трехмерного уравнения Логанова-Тавхелидзе с кулоновским в евклидовом  $\vec{r}$ -пространстве потенциалом.

Для нескольких квазипотенциалов, обладающих сингулярным поведением в импульсном пространстве и являющихся аналогами квантовомеханических осцилляторного и линейного запирающего потенциалов, найдены энергетические спектры и волновые функции в импульсном представлении. Условие квантования в случае уравнения для спиновых частиц и линейного потенциала применено для описания спектров масс  $\Psi$ ,  $\Upsilon$  и  $\rho$ -мезонов.

Получены формулы, выражающие структурные функции глубокоупругого лептон-мезонного рассеяния через одновременные двухчастичные волновые функции относительного движения скалярных партонов. Выделены скейлинговая и предскейлинговая части структурных функций.

В случае взаимодействия кварков, взятого в виде амплитуды одноглюонного обмена, определено поведение структурных функций мезонов при асимптотических значениях квадрата переданного импульса.

Для зашиты выдвигаются следующие основные результаты, полученные в диссертации:

I. Найден точное решение ковариантного двухчастичного уравнения Логанова-Тавхелидзе с квазипотенциалом, являющимся суперпозицией квазипотенциалов однобозонного обмена, который можно рассматривать как релятивистское геометрическое обобщение кулоновского потенциала в импульсном пространстве. Построены волновые функции в импульсном и релятивистском конфигурационном представлении и найдено релятивистское условие квантования уровней энергии. Получены



решения уравнения Логанова-Тавхелидзе в случае квазипотенциала, являющегося суперпозицией модельного кулоновского и отталкивательного взаимодействия на малых расстояниях.

2. Найден новый класс квазипотенциалов, сингулярных в релятивистском конфигурационном представлении, для которых квазипотенциальные уравнения в импульсном пространстве сводятся к дифференциальным. Уравнения Логанова-Тавхелидзе и Кадышевского с этими квазипотенциалами решены в киральном пределе точно.

3. Предложен и использован для построения решений разностных квазипотенциальных уравнений метод, пригодный в случае, если известна волновая функция основного состояния. В релятивистском конфигурационном представлении для задачи о связанных состояниях вычислена парциальная ( $\ell=0$ ) функция Грина уравнения Логанова-Тавхелидзе и выведены однородные интегральные уравнения для волновой функции.

4. Получены решения одномерного уравнения Логанова-Тавхелидзе с линейным и кулоновским потенциалами, заданными в релятивистском конфигурационном представлении. Найденны волновые функции и условие квантования уровней энергии для трехмерного уравнения Логанова-Тавхелидзе с кулоновским в евклидовом  $\vec{r}$ -пространстве квазипотенциалом.

5. Найденны спектры энергий и волновые функции в импульсном представлении для квазипотенциальных уравнений с сингулярными в импульсном пространстве квазипотенциалами, которые являются релятивистскими аналогами феноменологических запирающих потенциалов: линейного и осцилляторного. Условие квантования в случае уравнения для частиц со спином 1/2 с аналогом линейного потенциала применено для описания спектров масс  $\Psi$ ,  $\Upsilon$  и  $\rho$ -мезонов. Получено хорошее согласие теории с экспериментом.

6. Выведены формулы для структурных функций глубоконеупругого рассеяния лептонов на мезонах через одновременные двухчастичные волновые функции относительного движения бесспиновых кварков. Определен вид скейлинговой и предскейлинговой частей структурных функций. Для мезонов, составленных из спиновых кварков в случае взаимодействия между ними, выбранного в виде амплитуды одноглюонного обмена, определено асимптотическое поведение структурных функций.

#### Апробация диссертации

Основные материалы диссертации неоднократно докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, сессиях ОЯФ АН СССР (1980, 1982), на семинарах и конференциях Гомельского государственного университета.

#### Публикации

По результатам диссертации опубликовано 8 статей.

#### Объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного содержания и заключения, содержит 98 страниц машинописного текста, 5 рисунков и библиографический список литературы из 121 названия.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается краткий обзор разных подходов к построению кварковых моделей, использующих релятивистские уравнения. В этом плане обсуждаются основные достижения и возможности квазипотенциального подхода в задаче о связанных состояниях.

Первая глава посвящена нахождению точных решений квазипотенциальных уравнений в импульсном пространстве.

В §1 даны основные определения квазипотенциального подхода и краткий вывод ковариантных двухчастичных одновременных уравнений, обсуждается условие двухчастичной унитарности.

В §2 решается уравнение Логанова-Тавхелидзе с квазипотенциалом, который на энергетической поверхности является простой суперпозицией квазипотенциалов однобозонного обмена:

$$V(\vec{p}, \vec{k}; E) = \left[ -\frac{4m^2 g^2}{(p-k)^2} - \frac{4m^2 g^2}{4m^2 - (p-k)^2} \right] N(E_p, E_k, E).$$

Выбор для множителя  $N$ , равного на энергетической поверхности  $E_p = E_k = E$  единице, простого вида  $N = E_k E^{-4}$  приводит к уравнению, формально совпадающему с уравнением Шредингера, потенциал в котором не является локальным в евклидовом пространстве импульсов, а имеет вид  $V \cong (\vec{p}(\leftarrow)\vec{k})^{-2}$ , где  $\vec{p}(\leftarrow)\vec{k}$  есть разность векторов в пространстве Лобачевского. Этот квазипотенциал можно рассматривать как релятивистское геометрическое обобщение кулоновского потенциала в импульсном пространстве. Для такого квазипотенциала найдены точные релятивистские волновые функции. Волновая функция  $n$ -го состояния является полиномом  $n+1$  степени по свободной функции Грина уравнения Логанова-Тавхелидзе  $G_0(E_p, E) = (E_p^2 - E^2)^{-1}$ . Точное релятивистское условие квантования уровней энергии имеет вид

$$\frac{g^2}{4\pi E_n \sqrt{m^2 - E_n^2}} = n ; n = 1, 2, 3, \dots$$

В §3 рассматриваются другие способы выхода за энергетическую поверхность, обсуждаются условия ортогональности и нормировки волновых функций. Так, при выборе множителя  $N$  в симметричном виде  $N = \sqrt{E_p E_n} E^{-1}$  условие ортонормированности релятивистских волновых функций принимает форму

$$(2\pi)^{-3} \int \Psi^{*(n)}(\vec{p}) \left[ E_n^2 + E_m^2 + E_n E_m - E_p^2 \right] \Psi^{(m)}(\vec{p}) \frac{d\vec{p}}{\sqrt{m^2 + \vec{p}^2}} = 2 E_n^2 \delta_{nm}.$$

В §4 исследуется класс квазипотенциалов, для которых релятивистские уравнения в импульсном пространстве сводятся к дифференциальным уравнениям второго порядка. В релятивистском конфигурационном представлении эти квазипотенциалы имеют вид

$$V(r) = -\frac{\alpha^2}{r^2}; \quad V_{\pm}(r) = -\frac{\alpha^2}{r^2 \pm a^2}.$$

Уравнения Логанова-Тавхелидзе и Кадышевского с этими квазипотенциалами решены точно в пределе нулевой массы связанной системы. Показано, что волновые функции в импульсном представлении выражаются через функции Лежандра. Найденное условие квантования в данном случае (киральное предельное) оказывается условием на константу  $\alpha^2$ .

В §5 найдены в импульсном представлении волновые функции уравнения Логанова-Тавхелидзе с квазипотенциалом, являющимся суперпозицией "геометрического" кулоновского и сингулярного отталкивательного на малых расстояниях ( $V(r) = \alpha^2 r^{-2}$ ) квазипотенциалов.

В §6 рассматривается простой квазипотенциальный аналог осцилляторного взаимодействия, найдены волновые функции в импульсном представлении и спектр энергий.

Во второй главе исследуются квазипотенциальные уравнения в релятивистском конфигурационном представлении.

В §1 приведены основные формулы гармонического анализа на группе Лоренца, используемого при формулировке квазипотенциальных уравнений в релятивистском конфигурационном представлении.

В §2 исследуются разностные квазипотенциальные уравнения. На примере квазипотенциала  $V(r) = g^2 (4\pi r)^{-1} \text{th}(2^{-1} \pi r m)$ , соответствующего рассмотренному в первой главе в импульсном представлении геометрическому обобщению кулоновского потенциала, излагается метод построения волновых функций возбужденных состояний, пригодный в случае, если известна волновая функция основного состояния. Этим методом найдены решения уравнения Логанова-Тавхелидзе с потенциалом  $V(r) = g^2 (4\pi r)^{-1} \text{cth}(2^{-1} \pi r m)$ . Его можно также использовать для нахождения решений квазипотенциального уравнения, справедливого

для спиновых частиц, для которого в случае аналогичных потенциалов найдены волновые функции основного состояния.

В §3 в конфигурационном представлении сформулированы однородные интегральные уравнения для волновых функций связанных состояний. Вычислена парциальная ( $l=0$ ) функция Грина. Интегральные уравнения в конфигурационном пространстве оказываются уравнениями типа ( $E = m \sin y$ )

$$r \Psi(r) = -\frac{1}{\cos x \sin 2x} \int \frac{\text{ch}[y m(r-r')]}{\text{ch}[\pi m(r-r')]} V(r') r' \Psi(r') dr'$$

и также могут быть использованы наряду с разностными уравнениями или уравнениями в импульсном пространстве для нахождения волновых функций. Показано в простейших случаях, что волновые функции, найденные как решения разностных уравнений, удовлетворяют также соответствующим интегральным уравнениям в конфигурационном пространстве.

В третьей главе исследуются квазипотенциальные уравнения в случае взаимодействий, являющихся релятивистскими аналогами квантовомеханических кулоновского и линейного потенциалов. Для решения этих уравнений применяется метод преобразования Фурье.

В §1 рассмотрено одномерное интегральное уравнение Логанова-Тавхелидзе и соответствующее ему разностное уравнение с линейным в конфигурационном пространстве потенциалом. Найдены точные решения обоих этих уравнений. Показано, что волновые функции в  $r$ -представлении выражаются через функции Макдональда. С использованием этого результата найдено условие квантования уровней энергии для трехмерного уравнения Логанова-Тавхелидзе с запирающим потенциалом  $V(r) \cong \lambda r$  в виде ( $E_n = m \text{ch} x_n$ )

$$K_i \lambda^{-1} \text{ch} 2x_n (\lambda^{-1}) = 0.$$

Установлена связь найденных ранее приближенных ВКБ-решений разностного уравнения с точными.

В §2 получены решения одномерного уравнения Логанова-Тавхелидзе с квазипотенциалом, имеющим в релятивистском конфигурационном представлении вид кулоновского:  $V(r) = -d/r$ . Найденные решения отличаются от известных ранее на  $2i$ -периодическую "обобщенную  $\theta$ -функцию":

$$\tilde{\theta}\left(\frac{mr}{2}\right) = \frac{1}{1 - e^{-\pi mr}},$$

наличие которой обеспечивает быстрое убывание волновой функции в области отрицательных  $r$  и справедливость интегрального уравнения.

В §3 решено трехмерное уравнение Логанова-Тавхелидзе с квазипотенциалом, имеющим в импульсном пространстве такой же вид  $V(\vec{p}, \vec{k}; E) \cong (\vec{p} - \vec{k})^{-2}$ , как и нерелятивистский кулоновский потенциал. В координатном представлении это уравнение для центрально-симметричного случая сводится к уравнению

$$\left(-\frac{d^2}{dr^2} + m^2 - E^2\right) \phi(r) = \frac{m^2 d}{r} \frac{1}{\sqrt{m^2 - d^2/dr^2}} \phi(r),$$

решения которого найдены с использованием одномерного преобразования Фурье.

В §4 исследуется уравнение Логанова-Тавхелидзе с квазипотенциалом  $V \cong \lambda(\vec{p} - \vec{k})^{-4}$ , который с учетом используемой в нерелятивистской теории кваркония регуляризации отвечает линейно растущему в  $\vec{r}$ -представлении потенциалу. Точные волновые функции в импульсном пространстве найдены в виде интегрального представления. Условие квантования уровней энергии имеет вид

$$(E_n^2 - m^2) \left(\frac{E_n}{m^4 \lambda}\right)^{\frac{2}{3}} = \xi_n,$$

где  $-\xi_n$  - нули функции Эйри.

Сделан аналогичный выбор квазипотенциала в случае уравнения, справедливого для спиновых частиц, для которого также выписаны волновые функции в импульсном представлении и получен энергетический спектр

$$2E_n = 2m \left(1 + 2\xi_n \lambda^{\frac{2}{3}}\right).$$

Сравнение этого спектра с известными спектрами масс  $\psi$ ,  $\gamma$  и  $\rho$ -мезонов показывает хорошее согласие теории и эксперимента.

В четвертой главе в рамках квазипотенциального подхода исследуются структурные функции двухчастичных систем.

В §1 структурный тензор  $W_{\mu\nu}(p, q)$  глубокоэластичного рассеяния лептонов на мезонах изучается в приближении двухчастичных промежуточных состояний. Матричные элементы оператора тока  $\langle \vec{k}_1, \vec{k}_2 | J_\mu(0) | \vec{p}, M \rangle$  выражены через квазипотенциальные волновые функции относительного движения кварков. В случае бесспиновых кварков для тензора  $W_{\mu\nu}(p, q)$  и структурных функций получены формулы, выражающие их через квазипотенциальные волновые функции типа

$$V_2(Q^2, \nu) \cong M^{-2} P^\mu P^\nu W_{\mu\nu}(p, q) = \frac{Q_1^2 + Q_2^2}{4\pi} \frac{(\nu + M)^2}{\sqrt{\nu^2 + Q^2}} \int_{k_-^0}^{k_+^0} |\psi(k^0)|^2 dk^0.$$

Введена новая скейлинговая переменная. Определен вид скейлинговой и предскейлинговой частей структурных функций.

В §2 вычислены структурные функции мезонов, составленных из спиновых кварков для случая, когда взаимодействие между ними имеет хромодинамический вид. Показано, что в глубокоэластичной области структурные функции становятся масштабно-инвариантными, а предасимптотические члены полностью определяются асимптотикой волновых функций. На основе приближенного решения квазипотенциальных уравнений с хромодинамическим и электродинамическим взаимодействиями найдены асимптотики волновых функций. Выполнен численный расчет структурных функций для случая хромодинамического взаимодействия между кварками.

В заключении кратко перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

#### Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Kapshay V.N., Skachkov N.B. Exact solution of the covariant two-particle equation with superposition of one boson exchange quasipotentials. Dubna, 1981, 13 p. (Preprint JINR, E2-81-618).
2. Kapshay V.N., Linkevich A.D., Savrin V.I., Skachkov N.B. Covariant three-dimensional equations for bound states of quarks and the structure functions of hadrons. Nuovo Cimento, 1981, v.66A, p.45-62.
3. Капшай В.Н., Линкевич А.Д., Саврин В.И., Скачков Н.Б. Структурные функции мезонов и ковариантные волновые функции связанных состояний кварков. Дубна, 1981, 13 с. (Сообщение ОИЯИ, P2-81-481).
4. Капшай В.Н., Скачков Н.Б. Ковариантные двухчастичные волновые функции для модельных квазипотенциалов, допускающих точные решения. Решения в импульсном пространстве. Дубна, 1982, 12 с. (Препринт ОИЯИ, P2-82-155).
5. Капшай В.Н., Скачков Н.Б. Ковариантные двухчастичные волновые функции для модельных квазипотенциалов, допускающих точные решения. Решения в релятивистском конфигурационном представлении. Дубна, 1982, 12 с. (Препринт ОИЯИ, P2-82-163).

6. Капшай В.Н., Кулешов С.П., Скачков Н.Б. Точные решения квази-потенциальных уравнений для некоторых аналогов потенциалов запираания. Дубна, 1982, II с. (Препринт ОИЯИ, P2-82-271).
7. Капшай В.Н., Скачков Н.Б. Точные решения квазипотенциальных уравнений для кулоновского и линейного запирающего потенциалов. Дубна, 1982, 12 с. (Препринт ОИЯИ, P2-82-272).
8. Karshay V.N., Linkevich A.D., Savrin V.I., Skachkov N.B. The structure functions of pseudo-scalar mesons in a composite model with QCD interaction. Dubna, 1982, 14 p. (Preprint JINR, E2-82-36).

#### Литература

1. Боголюбов Н.Н. Теория симметрии элементарных частиц. В кн.: Физика высоких энергий и элементарных частиц. Киев, "Наукова думка", 1967, с.5-112.
2. Боголюбов Н.Н., Струминский Б.В., Тавхелидзе А.Н. К вопросу о составных моделях элементарных частиц. Дубна, 1965, 13 с. (препринт ОИЯИ, Д-1968).  
Боголюбов Н.Н., Нгуен Ван Хьеу, Стоянов Д., Струминский Б.В., Тавхелидзе А.Н., Шелест В.П. Релятивистски-инвариантные уравнения для составных частиц и формфакторы. Дубна, 1965, 15 с. (препринт ОИЯИ, Д-2075).
3. Боголюбов П.Н. О модели квазинезависимых кварков. Дубна, 1967, 19 с. (препринт ОИЯИ, P2-3115);  
Bogolubov P.N. Sur un modele a quarks quasi-independants. Ann.Inst.H.Poincare, 1968, Sect.A, 8, N 2, 163-189.
4. Logunov A.A., Tavkhelidze A.N. Quasioptical Approach in Quantum Field Theory. Nuovo Cim., 1963, v.29, p.380-396.
5. Kadyshchewsky V.G. Quasipotential type equation for the relativistic scattering amplitude. Nucl.Phys., 1968, v.86, N 2, p.125-148;  
Kadyshchewsky V.G., Mateev M.D. On a relativistic quasipotential equation in the case of particles with spin. Nuovo Cim., 1968, v.55A, p.275-300.
6. Кадышевский В.Г., Мир-Касимов Р.М., Скачков Н.Б. Трехмерная формулировка релятивистской проблемы двух тел. ЭЧАЯ, 1972, т.2, вып.3, с.635-690.
7. Логунов А.А., Хрусталева О.А. Вероятностное описание рассеяния при высоких энергиях и гладкий квазипотенциал. ЭЧАЯ, 1969, т.1, с.72-91.

8. Голоскоков С.В., Кулешов С.П., Матвеев В.А., Смодырев М.А. Изучение степенных автомоделных асимптотик адрон-адронного рассеяния на большие углы. ЭЧАЯ, 1977, т.8, вып.5, с.269.
9. Фаустов Р.Н. Уровни энергии и электромагнитные свойства водородоподобных атомов. ЭЧАЯ, 1972, т.3, с.238-268.
10. Фейнман Р. Взаимодействие фотонов с адронами. М., "Мир", 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 июня 1982 года.