

С - 347

2-81-507

СИДОРОВ

Александр Викторович

СПЕКТРЫ МАСС И СЕЧЕНИЯ РАССЕЯНИЯ
В КВАЗИПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СОСТАВНЫХ МОДЕЛЯХ
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1981

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 Н.Е. ТЮРИН

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник Л.А. СЛЕПЧЕНКО

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт
ядерных исследований АН СССР, Москва.

Автореферат разослан " " _____ 1981 года.

Защита диссертации состоится " " _____ 1981 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. ЖУРАВЛЕВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В связи с открытием семейств Ψ и Υ -частиц возрос интерес к составным моделям адрона, позволяющим описывать многие свойства этих частиц.

Существует два типа таких моделей, основанных на полученных в рамках квантовой теории поля уравнениях: первые строятся на основе четырехмерных уравнений ^{1/1}, вторые используют одновременной квази-потенциальный подход ^{1/2} к проблеме двух тел. Достоинством последних является то, что они по своему виду близки к уравнениям квантовой механики, являясь их релятивистским трехмерным обобщением. В этих уравнениях волновая функция системы имеет, в отличие от подхода Бете-Солпитера, обычную вероятностную интерпретацию, а возможность введения релятивистского аналога конфигурационного представления ^{1/3} позволяет, как и в уравнении Шредингера, найти точные решения для ряда потенциалов. В рамках одновременного подхода при исследовании процессов рассеяния и свойств связанных состояний частиц возможно применение, после соответствующего релятивистского обобщения, методов, разработанных в квантовой механике.

В рамках квазипотенциального подхода с высокой точностью были рассчитаны тонкая структура и лэмбовский сдвиг водородоподобных атомов в квантовой электродинамике ^{1/4}. Поэтому можно рассчитывать на дальнейшее успешное использование трехмерного квазипотенциального формализма для решения актуальной задачи описания связанных состояний сильновзаимодействующих частиц.

В квазипотенциальном подходе в области асимптотически больших энергий получено предсказанное правилами кваркового счета ^{1/5} степенное поведение сечений рассеяния адронов ^{1/6}.

Однако детальное описание экспериментальных данных ^{1/7} вы-

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИСПОЛЗОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

явило предасимптотический характер достигнутой в настоящее время на ускорителях области энергий.

Одной из возможностей эффективного учета предасимптотических эффектов в процессах рассеяния может служить модель с факторизующимися кварковыми амплитудами $^{1/8}$, содержащая в качестве размерного параметра массу кварка $^{1/9}$, позволяющая описать поведение электромагнитных формфакторов протона и пиона, структурных функций нуклона. Это указывает на то, что использование решений квазипотенциальных уравнений для амплитуды рассеяния адронов совместно с гипотезой о факторизации кварковых амплитуд позволит описать многие физические эффекты в области предасимптотических энергий.

Цель работы состоит в развитии релятивистского трехмерного формализма для описания двух частиц со спином $1/2$, расчете в одновременном формализме спектра масс и лептонных ширин, связанной системы кварк-антикварк; описании в модели, содержащей размерный параметр - массу кварка, сечений упругого рассеяния на большие углы, инклюзивного рождения пионов с большими поперечными импульсами в протон-протонных столкновениях, данных по слабому упругому формфактору нуклона.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

В диссертации в релятивистском конфигурационном представлении найден вид квадратичного спин-орбитального члена и построена релятивистская система парциальных уравнений для двух частиц со спинами $1/2$ с учетом всех спиновых структур потенциала однобозонного обмена.

В релятивистском конфигурационном представлении для потенциала, содержащего кулоновскую и запирающую части, рассчитаны спектры масс и ширины лептонных распадов семейств φ , ψ , γ мезонов.

Для уравнений Логунова-Тавхелидзе получено точное условие квантования в случае растущего линейного потенциала в трехмерном евклидовом пространстве и вычислены спектры масс тяжелых векторных мезонов.

Получено релятивистское, 3-мерное обобщение метода Томаса-Ферми и дана релятивистская оценка числа узких, не распадающихся по сильному каналу, возбужденных состояний кваркониев.

Предложена новая модификация модели векторной доминантности на малых расстояниях, и на ее основе рассчитаны слабые формфакторы нуклонов.

Показано, что данные по инклюзивной реакции $pp \rightarrow \pi^0 X$ и по упругому pp и $\pi^{\pm}p$ - рассеянию на большие углы могут быть описаны на основе квазипотенциальных уравнений в модели с факторизующимися кварковыми амплитудами и размерным параметром - массой кварка.

ДЛЯ ЗАЩИТЫ ВЫДВИГАЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В ДИССЕРТАЦИИ:

1. Для системы двух частиц со спином $1/2$ на основе трехмерного квазипотенциального уравнения в релятивистском конфигурационном представлении получена система разностных парциальных уравнений, являющаяся обобщением известной в теории нуклон-нуклонных взаимодействий системы Хамады-Джонстона. Учтены пять возможных спиновых структур.

2. В релятивистском конфигурационном представлении решена задача о спектре масс системы кварк-антикварк с потенциалом взаимодействия, содержащем хромодинамическую кулоновскую часть для описания малых расстояний и запирающую часть для больших. Рассчитаны массы и ширины лептонных распадов семейств φ , ψ и γ - частиц.

3. Найдено точное решение релятивистского квазипотенциального уравнения Логунова-Тавхелидзе с линейным потенциалом, заданным в евклидовом трехмерном \vec{r} -пространстве. Получено точное условие квантования, которое хорошо описывает спектры тяжелых векторных мезонов.

4. Построено релятивистское обобщение метода Томаса-Ферми в квазипотенциальном подходе. На его основе получена релятивистская оценка числа узких, не распадающихся по сильному каналу, возбужденных состояний кваркониев.

5. Предложена модификация модели векторной доминантности, учитывающая кор валентных кварков, на малых расстояниях. На ее основе рассчитаны слабые формфакторы нуклонов. Проведенное сравнение с экспериментальными данными показывает хорошее согласие с опытом.

6. На основе решений квазипотенциальных уравнений для амплитуды рассеяния получено хорошее описание экспериментальных данных по сечениям упругого pp и $\pi^{\pm}p$ - рассеяния на большие углы в области высоких энергий в модели с факторизующимися кварковыми амплитудами. В этой же модели, содержащей массу кварка в качестве размерного параметра, получено хорошее описание экспериментальных данных по

инклюзивному рождению π^0 - мезонов в протон-протонных столкновениях.

Апробация диссертации

Основные материалы диссертации докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, на сессиях ОЯФ АН СССР, на конференциях молодых ученых по теоретической физике в Институте теоретической физики АН УССР (Киев, 1980).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 9 статей.

Объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 86 страниц машинописного текста, 12 рисунков, 13 таблиц и библиографический список литературы из 122 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведен обзор методов построения составных релятивистских кварковых моделей. Обсуждается квазипотенциальный подход к задаче о связанном состоянии кварков и к описанию рассеяния адронов.

Первая глава посвящена построению в релятивистском конфигурационном представлении системы квазипотенциальных парциальных уравнений для системы двух фермионов.

В § 1 дается сводка основных соотношений и уравнений одновременного формализма. В § 2 получен образ квадратичного по спинорбитальному взаимодействию члена $(\vec{L} \vec{S})^2$ в релятивистском конфигурационном представлении. С использованием полученных ранее выражений для спин-орбитальных и тензорных сил /10/, а также результатов § 1 и § 3 построена система релятивистских трехмерных парциальных уравнений, являющихся квазипотенциальным обобщением широко используемой в нерелятивистской квантовой механике системы парциальных уравнений для нуклон-нуклонного рассеяния, введенной в работе /11/. При этом учтены все пять возможных структур, возникающих в релятивистском потенциале однобозонного обмена /12/. Уравнения, составляющие полученную систему, являются не дифференциальными, а конечно-разностными.

Во второй главе исследуются спектры связанных состояний системы кварк-антикварк в потенциалах, содержащих запирающую часть. В § 1 методом ВКБ, применение которого в квазипотенциальных уравнениях было предложено в /13/, решается конечно-разностное уравнение, записанное в вещественной форме в релятивистском конфигурационном представлении

$$\left[2 \operatorname{ch}\left(i \frac{d}{dr}\right) - \frac{2(\ell+1)}{i r} \operatorname{sh}\left(i \frac{d}{dr}\right) - \frac{2m + E_{ne} - V(r)}{2m} \right] K_{ne}(r) = 0;$$

$$\Psi_{ne}(r) = i^{\ell+1} \frac{\Gamma(ir + \ell + 1)}{r \Gamma(ir)} K_{ne}(r); \quad \hbar = m = c = 1.$$

Рассмотрим потенциал $V(r)$, содержащий хромодинамическую кулоновскую часть на малых расстояниях и запирающий член общего вида на больших. С помощью известного точного релятивистского кулоновского решения в области малых r и квазиклассической волновой функции при больших r получено выражение для $|\Psi(0)|^2$ и квазиклассическое условие квантования. Численные расчеты проводились во втором параграфе для двух видов потенциала запираения: линейного $V_{\text{зап}}(r) = \sigma' r$ и логарифмического $V_{\text{зап}}(r) = \sigma'' \ln mr$.

Свободные параметры: масса кварка m , хромодинамическая константа α и параметр потенциала запираения фиксировались по двум массам состояний с $n=0, \ell=0$ и $n=1, \ell=0$ и ширине лептонного распада основного уровня $n=0, \ell=0$. С использованием полученных значений параметров вычислялись массы и ширины лептонных распадов возбужденных состояний φ , ψ и γ -мезонов. Получено хорошее согласие с экспериментальными данными.

В § 3 получено точное условие квантования для уравнения Логюнова-Гавхелидзе, описывающего связанную систему двух скалярных кварков с линейным потенциалом $V_{q\bar{q}}(r) = \sigma r$, заданным в евклидовом пространстве

$$\int_0^{\infty} dp \cos \left\{ \frac{1}{2m^2 \sigma} \left[p \sqrt{p^2 + m^2} \left(E^2 - \frac{5}{4} m^2 - \frac{p^2}{2} \right) + \frac{1}{2} m^2 \left(E^2 - \frac{3}{4} m^2 \right) \operatorname{arcsch} \frac{p}{m} \right] \right\} = 0.$$

Значения параметра σ и массы кварка m фиксируются из срав-

нения с экспериментом. Для удобства расчетов используется квазиклассический аналог точного условия квантования. С его помощью рассчитаны спектры масс тяжелых векторных мезонов.

В § 4 на основе квазиклассического приближения, развитого для конечно-разностного уравнения, получено квазипотенциальное обобщение метода Томаса-Ферми. Это позволило, используя известные данные по связанным состояниям в системе $C\bar{C}$, сделать оценку числа узких, не распадающихся по сильному каналу состояний в системах $b\bar{b}$ и $t\bar{t}$.

В третьей главе на основе динамической модели факторизующихся кварковых амплитуд, основные физические принципы которой изложены в § I, описываются конкретные процессы рассеяния с участием адронов.

В § 2 поведение сечения инклюзивной реакции $pp \rightarrow \pi^0 X$ ($\theta_{ц.м.} = 90^\circ$) рассмотрено в широкой области импульса пиона: $2 \text{ ГэВ/с} < p_{\perp} < 15 \text{ ГэВ/с}$ и энергии сталкивающихся протонов $30 \text{ ГэВ} < \sqrt{s} < 63 \text{ ГэВ}$. С использованием формулы "жестких" соударений и сечения кварк-кваркового рассеяния, полученного в динамической модели факторизующихся кварков, описана смена степенного режима с p_{\perp}^{-8} на $p_{\perp}^{-6,6}$, наблюдавшаяся на встречных протонных пучках в области $p_{\perp} \sim 12 \text{ ГэВ/с}$. При этом оказывается существенным, что в эффективном потенциале, на котором происходит жесткий подпроцесс кваркового рассеяния, явно содержится размерный массовый параметр.

В § 3 на основе общих выражений для квазипотенциалов, описывающих степенное поведение сечения упругого pp и $\pi^{\pm}p$ -рассеяния, предложен конкретный вид квазипотенциала, позволяющий получать в трехмерном формализме те амплитуды адрон-адронного рассеяния, которые предсказываются в модели с факторизующимися кварковыми амплитудами. С учетом процессов обмена тождественными кварками при рассеянии адронов описаны данные по сечениям упругого pp и $\pi^{\pm}p$ -рассеяния в широком диапазоне углов. Наличие явного размерного параметра - массы кварка приводят к логарифмическому отклонению от степенного поведения сечений.

В последнем параграфе рассматриваются слабые упругие формфакторы нуклона. Показано, что модификация формулы векторной доминантности, учитывающая кор валентных кварков на малых расстояниях и факторизуемость их амплитуд:

$$F_{V,A}^3(Q^2) = g_1^3 \frac{C_{V,A}}{1+Q^2/m^2} ; g_1 = \text{arsh} \frac{2m_q^2 - t_q}{2m_q^2},$$

позволяет описать данные по векторному и аксиальному слабым формфакторам не хуже, чем с помощью чисто феноменологической дипольной формулы.

В заключении кратко перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Литература:

- I. Н.Н. Боголюбов, Нгуен Ван Хьеу, Д. Стоянов, Б.В. Струминский, А.Н. Тавхелидзе, В.П. Шелест. Релятивистски-инвариантные уравнения для составных частиц и формфакторы. Дубна, 1965, с. 15 (Препринт/ОИЯИ, Д-2075).
2. A.A. Logunov, A.N. Tavkhelidze. Quasioptical Approach in Quantum Field Theory. Nuovo Cim., 1963, v. 29, p. 380-396.
3. V.G. Kadyshevsky, R.M. Mir-Kasimov, N.B. Skachkov. Quasi-Potential Approach and the Expansion in Relativistic Spherical Functions Nuovo. Cim., 1968, v. 55A, p. 233-257.
4. Р.Н. Фаустов, Уровни энергии и электромагнитные свойства водородоподобных атомов. ЭЧАЯ, 1972, т. 3, с. 238-268.
5. V.A. Matveev, R. Muradyan, A.N. Tavkhelidze. Automodelism in the Large-angle elastic scattering and structure of hadrons. Lett. Nuovo. Cim. 1973, v. 7, p. 719-723.
6. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, В.А. Матвеев, М.А. Смондырев. Изучение степенных автоматодельных асимптотик адрон-адронного рассеяния на большие углы. ЭЧАЯ, 1977, т. 8, с. 969-988.
7. С.В. Голоскоков, А.В. Кудинов, С.П. Кулешов. Предасимптотические эффекты в адрон-адронном рассеянии на большие углы и описание экспериментальных данных. Дубна, 1979, 12с. (Сообщения/ОИЯИ, P2-126, 93).
8. M. Kawaguchi, Y. Sumi, H. Yokoi. Quark Model with Factorizability Assumption. Phys. Rev., 1968, v. 168, p. 1556-1561; В. Фельд. Модели элементарных частиц М., Мир, 1971; А.П. Кобушкин, В.П. Шелест. Некоторые приложения релятивистской кварковой модели. ЭЧАЯ, 1972, т. 3, с. 571-605.
9. А.Ф. Пашков, Н.Б. Скачков, И.Л. Соловцов. Гипотеза факторизуемости в кварковой модели и упругое рассеяние адронов на большие углы. Письма в ЖЭТФ, 1977, т. 25, с. 452-456.
10. Н.Б. Скачков, И.Л. Соловцов. Релятивистское трехмерное описание взаимодействия двух фермионов. ЭЧАЯ, 1978, т. 9, с. 5-47.
- II. T. Hamada, I.D. Johnston. A potential model representation of two-nucleon data below 315 MeV. Nucl. Phys., 1962, v. 2, p. 382-403.

12. Н.Б. Скачков. Релятивистская амплитуда однобозонного обмена. ТМФ, 1975, т. 22, с. 213-220.
13. А.Д. Донков, В.Г. Кадышевский, М.Д. Матеев, Р.М. Мир-Касимов. В кн.: "Взаимодействие адронов при высоких энергиях" (Сборник аннотаций международного семинара, Баку, 24-27 апреля 1972). Изд. Института физики АН АзССР. Баку, 1972, с. 5.

Результаты диссертации опубликованы в работах

1. В.Н. Капшай, А.В. Сидоров, Н.Б. Скачков. Большие ρ_1 и кварк-кварковое сечение в динамической модели факторизующихся кварков. Письма в ЖЭТФ, 1978, т. 28, с. 707-710.
2. S.P. Kuleshov, A.V. Sidorov, N.B. Skachkov. Quasipotential Description of $\pi^\pm p$ - Scattering at Large Angles in Model with Dimensional Parameter. Dubna, 1979, 10p. (JINR Communication, E2-12544).
3. S.P. Kuleshov, A.V. Sidorov, N.B. Skachkov. Quasipotential Description of pp and $\pi^\pm p$ - Scattering at Large Angles in Model with Dimensional Parameter. Dubna, 1979, 12p. (JINR Communication E2-12688).
4. А.В. Сидоров, Н.Б. Скачков. Потенциал с размерным параметром в модели жестких соударений. Письма в ЖЭТФ, 1979, т. 30, с. 739-741.
5. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, А.В. Сидоров. О спектре масс мезонов в квазипотенциальном подходе. Письма в ЖЭТФ, 1980, т. 31, с. 154-156.
6. С.Г. Коваленко, А.В. Сидоров. Слабые формфакторы нуклона в модифицированной модели векторной доминантности. Письма в ЖЭТФ 1980, т. 31, с. 491-494.
7. А.В. Сидоров, Н.Б. Скачков. Вычисление масс и ширины связанных состояний кварка и антикварка. Дубна, 1980, 15с. (Препринт/ОИЯИ, P2-80-45).
8. А.В. Сидоров, Н.Б. Скачков. Описание ширины и спектров связанных состояний двух релятивистских фермионов. ТМФ, 1981, т. 46, с. 213-224.
9. А.В. Сидоров. Обобщение метода Томаса-Ферми в квазипотенциальном подходе. Дубна, 1980, 9с. (Препринт / ОИЯИ, P2-80-526).

Рукопись поступила в издательский отдел
23 июля 1981 года.