

М-673

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2 - 11068

МИТРЮШКИН
Валентин Константинович

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ
ОПИСАНИЯ АДРОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Специальность 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1977

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики.

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник С. П. Кулешов,
кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник А. Н. Сисакян.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник И. В. Андреев,
кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник В. И. Саврин.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского государственного университета, Москва.

Автореферат разослан " " _____ 1977 года.

Защита диссертации состоится " " _____ 1977 года на заседании специализированного совета К-047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований (Московская обл., г. Дубна).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук В. И. Журавлев

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы

Задача изучения законов, определяющих как упругое, так и неупругое высокоэнергетическое взаимодействие элементарных частиц, приобрела особый интерес в связи с созданием ряда мощных ускорителей у нас в стране и за рубежом.

В экспериментах последних лет, выполненных в ИФВЭ, ФНАЛе, ЦЕРНе и других, накоплен богатый материал, относящийся к адрон-адронным взаимодействиям при высоких энергиях, причем объем его быстро растет и обновляется, и большая часть еще нуждается в теоретическом осмыслении. Рост полных сечений и отношения $\rho(0) = ReT/ImT|_{t=0}$ вплоть до энергий $E_L \sim 10^3$ ГэВ, наличие сложной структуры у дифференциальных сечений упругого рассеяния, "уширение" зарядовых распределений с ростом энергии, наличие различного рода масштабных и корреляционных закономерностей — вот далеко не полный перечень явлений, составляющих предмет анализа.

Доказательство Н. Н. Боголюбовым ^{/1,2/} дисперсионных соотношений и введение им понятия амплитуды рассеяния как единой аналитической функции послужило мощным толчком для развития квантово-полевых подходов к описанию сильных взаимодействий.

Существенную роль в развитии представлений о свойствах взаимодействий элементарных частиц сыграл квазипотенциальный подход Логунова-Тавхелидзе ^{/3/}, позволивший ввести понятие комплексного, зависящего от энергии потенциала, описывающего взаимодействие двух частиц.

Квазипотенциальный подход, дополненный предположением о существовании локального гладкого потенциала ^{/4-7/}, дающего адекватное описание экспериментальных закономерностей, оказался чрезвы-

чайно эффективным при анализе как бинарных, так и инклюзивных процессов.

В квантовой теории поля гипотеза о существовании локального гладкого потенциала получила обоснование в рамках т.н. приближения прямолинейных путей (ППП)^{8/}, которое, в свою очередь, послужило теоретико-полевой основой для полуфеноменологического описания упругих и неупругих процессов при высоких энергиях.

Первые две главы диссертации посвящены исследованию некоторых вопросов упругого адрон-адронного рассеяния в рамках квазипотенциального подхода в квантовой теории поля.

В третьей главе исследуется ряд закономерностей множественного рождения частиц на основе теоретико-полевого подхода в приближении прямолинейных путей.

Цель работы:

анализ высокоэнергетического упругого адрон-адронного рассеяния с учетом спиновых эффектов;

изучение некоторых характеристик процессов множественного рождения в адрон-адронных столкновениях при высоких энергиях.

Научная новизна и практическая ценность

В диссертации впервые в рамках квазипотенциального подхода проведено полное совместное статистически удовлетворительное описание с учетом поляризационных эффектов имеющихся данных по упругому pp -рассеянию на малые углы на основе предложенного метода решения квазипотенциального уравнения для частиц со спинами. Предсказания модели могут быть использованы при постановке новых экспериментов.

Развит математически корректный метод решения уравнений типа Липпмана-Швингера с вкавскими потенциалами в пределе больших энергий и фиксированных углов.

В диссертации предложено обобщение известной многокомпонентной феноменологической модели, описывающей процессы множественного рождения. На ее основе объяснено поведение распределений по множественности заряженных частиц, а также зарядово-нейтральных корреляций в pp - и pp - взаимодействиях в широком интервале энергий.

Дано объяснение корреляционной зависимости между числом частиц, летящих вперед (в переднюю полусферу в СЦИ), и числом частиц, летящих назад (в заднюю полусферу в СЦИ).

Следующие результаты выдвигаются для защиты

Метод нахождения амплитуд рассеяния частиц со спинами в потенциальном и квазипотенциальном подходах в пределе высоких энергий и фиксированных передач импульса.

Статистически удовлетворительное совместное описание имеющихся данных упругого pp -рассеяния при $E_L \gtrsim 10$ ГэВ и $|t| \lesssim 1,05$ (ГэВ/с)².

Метод решения уравнений типа Липпмана-Швингера на потенциалах вкавского типа в пределе больших энергий и фиксированных углов.

Анализ pp -рассеяния с большими передачами при энергиях ISR .

Исследование распределений по множественности заряженных частиц и зарядово-нейтральных корреляций в рамках предложенного обобщения так называемой модели двух механизмов.

Объяснение характера поведения корреляций "вперед-назад" при высоких энергиях.

Апробация работы

Результаты диссертации докладывались и обсуждались на сессиях ОЛФ АН СССР (1974, 1975, 1976), Школах молодых ученых (1974, 1976), семинарах ЛТФ ОИЯИ.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано шесть статей.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, приложения и заключения; общий объем диссертации - 95 страниц, она включает 28 графиков и рисунков, библиографический список состоит из 87 названий.

Содержание работы

Диссертация начинается с введения, в котором дан краткий обзор затрагиваемых проблем.

Первая глава посвящена исследованию упругого рр-рассеяния на малые углы в квазипотенциальном подходе.

Исследование проводится на основе решения квазипотенциального уравнения с локальным гладким потенциалом, которое описывает систему двух частиц со спинами $I/2$.

В § I подробно излагается метод решения этого уравнения в пределе больших энергий и фиксированных передач ($S \rightarrow \infty$; t - фикс.). Суть метода заключается в сведении исходного уравнения к уравнению типа Липпмана-Швингера с некоторым эффективным потенциалом, решение которого ищется с помощью т.н. модифицированной теории возмущений, т.е. разложения в показателе экспоненты по степеням этого эффективного потенциала.

Метод позволяет наладить регулярную процедуру вычисления

поправочных членов к амплитудам без переворота спина, с однократным и двукратным переворотом спина в указанном выше асимптотическом пределе.

Найденные решения использовались для описания рр-рассеяния на малые углы.

В § 2 изложены результаты численного описания экспериментальных данных по упругому рр-рассеянию на малые углы.

При этом локальный, гладкий потенциал выбирался в виде суперпозиции гауссовых функций. В потенциале учитывались члены, соответствующие скалярному и спин-орбитальному взаимодействиям.

Использованная параметризация позволила получить статистически удовлетворительное совместное описание имеющихся данных по полным и дифференциальным сечениям (σ_{tot} и $d\sigma/dt$), поляризации P и отношению вещественной части амплитуды рассеяния вперед к мнимой части $\rho(\theta) = \text{Re} T / \text{Im} T |_{t=0}$ в области энергий $E_L \geq 10$ ГэВ и передач $|t| \leq 1,05$ (ГэВ/с)².

Получены предсказания для наблюдаемых величин.

Во второй главе исследуются вопросы, связанные с рассеянием адронов с большими переданными импульсами (в т.ч. на фиксированные углы).

§ I второй главы посвящен задаче нахождения решения уравнения типа Липпмана-Швингера с кванскими потенциалами в пределе $S \rightarrow \infty$, t - фикс. С этой целью предлагается метод, аналогичный тому, который используется при нахождении асимптотик фейнмановских диаграмм. Этот метод подробно иллюстрируется на примере решения квазипотенциального уравнения для двух скалярных частиц с потенциалом Юкава и заключается в следующем.

Для N -й Борновской амплитуды, полученной итерированием

уравнении, с помощью фейнмановской параметризации получается α -параметрическое представление, аналогичное представлению Чисхольма для фейнмановских диаграмм. Главный асимптотический вклад в N -ю борновскую амплитуду дают те области интегрирования по параметрам, в которых близки к нулю переменные, составляющие t -пути и t -подграфы. Для выделения вклада этих областей производится т.н. небарицентрический скейлинг переменных. Область интегрирования по переменным скейлинга $\lambda_i, i=1,2,\dots$, вблизи нуля дает главный асимптотический вклад в N -ю борновскую амплитуду. Метод позволяет корректным образом вычислить также младшие асимптотические члены, что иллюстрируется на примере второй борновской амплитуды.

Амплитуда, полученная при решении квазипотенциального уравнения с комплексным, линейно растущим с ростом S потенциалом, степенным образом убывает с ростом $|t|$, причем степень убывания определяется константой связи.

Аналогичным образом найдено решение уравнения Липпмана-Швингера.

В § 2 рассматривается упругое pp -рассеяние при энергиях в области передач $0 \leq |t| \leq 9$ (ГэВ/с)². При этом потенциалы гауссового типа, хорошо себя оправдавшие при описании рассеяния в дифракционной области, дают исчезающе малый вклад в амплитуду при передачах $|t| \sim 2+3$ (ГэВ/с)². Характерные изменения в поведении дифференциальных сечений при достаточно больших энергиях и переданных импульсах указывают на возможную смену типа взаимодействия частиц на малых расстояниях. Описание взаимодействия частиц на малых расстояниях производится с помощью потенциала вкавского типа.

Таким образом, эффективный потенциал имеет вид суперпозиции гауссовых и вкавских функций.

Показано, что построенное с помощью такого потенциала сечение имеет те же основные характерные особенности, что и наблюдаемые экспериментально (экспоненциальное падение при малых передачах импульса, второй максимум и т.д.), и дает качественное описание упругого pp -рассеяния в указанной выше области энергий и передач.

Третья глава посвящена объяснению и описанию некоторых закономерностей неупругих процессов на основе "модели двух механизмов" (МДМ).

В § 1 третьей главы рассматривается теоретико-полевая модель на основе приближения прямолинейных путей, которая может служить теоретическим базисом феноменологической МДМ. Взаимодействие налетающих частиц описывается эффективным гамильтонианом. Основным предположением, в соответствии с концепцией ШП, является следующее: лидирующие объекты (частицы, кластеры) распространяются по траекториям, близким к прямолинейным. Это утверждение находит свою адекватную математическую формулировку на языке континуальных интегралов по траекториям.

§ 2 посвящен собственно феноменологической МДМ, в основе которой лежит предположение о статистически-независимом рождении нейтральных кластеров в центральной области и одновременном дифракционном возбуждении лидирующих частиц.

В результате распределение по числу заряженных частиц (при отсутствии кинематических ограничений) представляет собой конечную суперпозицию пуассоновских функций, т.е. имеет многокомпонентный характер. При этом число компонент в распределениях связано с числом каналов диссоциации налетающих частиц.

При больших множественностях модель учитывает ограничения, налагаемые законом сохранения энергии.

В § 7 рассматриваются некоторые приложения МДМ к описанию

зарядовых распределений и некоторых корреляционных закономерностей в адрон-адронном рассеянии.

Рассмотрены распределения по множественности и зарядово-нейтральные корреляции с учетом страных частиц в $\mathcal{P}N$ -столкновениях. При энергии $E_L = 40$ ГэВ наблюдается очень слабая корреляция между числом частиц типа S^0 (т.е. K^0, Σ^0, Λ) и числом заряженных частиц. Это указывает на тот факт, что при этой энергии рождение K^0 -мезонов и пр. происходит, главным образом, в результате распада легких кластеров (с модами распада $K^0 K^0, K^+ K^-$ и т.д.). При больших энергиях модель предсказывает рост корреляций в связи с рождением более тяжелых кластеров (типа $K^0 K^- \pi^+$ и т.д.), что подтверждается недавно появившимися данными^{/9/}.

Дано описание зарядовых распределений в интервале энергий $100 \lesssim E_L \lesssim 2100$ ГэВ в pp-взаимодействиях. При этом характер распределений при $E_L \gtrsim 100$ ГэВ позволяет сделать вывод о том, что при этих энергиях рождение пионов в центральной области происходит, в основном, в результате распада более тяжелых многочастичных кластеров, что согласуется с оценками, полученными в ряде других теоретических подходов^{/10/}.

В рамках модели показано, что "загиб" вниз кривой $\langle N_{S^0} \rangle_{N_{ch}}$ при больших N_{ch} , где N_{S^0} и N_{ch} - числа S^0 -мезонов и заряженных частиц, соответственно, вполне объясняется кинематическими ограничениями. Получена оценка на массу тяжелого кластера ($cl \rightarrow 4\pi$).

Рассматривается возможный механизм распада кластера и распределение продуктов распада в пространстве быстрот. Дано объяснение недавно появившимся данным по корреляционной зависимости между числом частиц, летящих "вперед" (в переднюю полусферу в СЦИ), и числом частиц, летящих "назад" (в заднюю полусферу в СЦИ).

Основные результаты, полученные в диссертации

1. Предложен асимптотический метод решения квазипотенциального уравнения для двух частиц со спинами $1/2$ в пределе $S \rightarrow \infty$, t -фикс. Метод позволяет находить в этом пределе для потенциалов, имеющих сложную спиновую структуру, амплитуды как без переворота спина, так и с переворотом спина, а также поправочные к ним младшие асимптотические члены.

2. Для квазипотенциалов гауссового типа произведено сравнение теоретических результатов с экспериментальными данными по упругому pp-рассеянию в области энергий $E_L \gtrsim 10$ ГэВ и передач $|t| \lesssim 1,05$ (ГэВ/c)². Получено статистически удовлетворительное описание имеющегося экспериментального материала (G_{tot} , dG/dt , P и $p(0)$). Получены предсказания поведения наблюдаемых величин в других областях энергий.

3. Исследовалось рассеяние высокоэнергетических частиц на фиксированные углы ($S \rightarrow \infty$, t/S -фикс.) в рамках квазипотенциального подхода на потенциалах викавского типа. Предложен корректный метод нахождения асимптотических значений амплитуды в этом пределе.

4. С помощью эффективного потенциала, представляющего собой суперпозицию гауссового и викавского потенциалов, получено удовлетворительное описание дифференциальных сечений протон-протонного рассеяния при энергиях ISR в области передач $|t| \lesssim 9$ (ГэВ/c)².

5. Предложено обобщение т.н. модели двух механизмов множественного рождения частиц, позволяющее получить качественное описание распределений по множественности в $\mathcal{P}N$ - и pp-столкно-

вениях при различных энергиях и зарядово-нейтральные корреляции, в том числе с учетом странных частиц. Показано, что "загиб" вниз функций $\langle N_{\alpha} \rangle / N_{ch}$ при больших множественностях вполне объясняется кинематическими ограничениями. Произведена оценка массы тяжелого кластера ($cl \rightarrow 4\pi$).

6. На основе простых предположений о распределении продуктов распада кластера в пространстве быстрот дано объяснение недавно появившимся данным по "вперед-назад"-корреляциям.

7. Анализ зарядовых распределений, зарядово-нейтральных а также "вперед-назад"-корреляций позволяет сделать вывод о том, что рождение частиц в центральной области происходит в основном в результате распада нейтральных кластеров, рождающихся статистически независимым образом, причем с ростом энергии все больший вклад начинают давать тяжелые многочастичные кластеры.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

С.В.Голоскоков, С.П.Кулешов, В.К.Митрюшкин, М.А.Смондырев.
ОИЯИ, P2-8339, Дуона (1974)
ТМФ, 24 (1975) 147.

N.S.Amaglobeli, V.K.Mitrjushkin, A.N.Sissakian,
L.A.Slepchenko, E.T.Tsivtsivadze, JINR, E2-9962, Dubna (1975).

S.V.Goloskokov, S.P.Kuleshov, V.K.Mitrjushkin.
JINR, E2-10227, Dubna (1976).

В.К.Митрюшкин, А.Н.Сисакян.
ОИЯИ, Д2-10533, Дуона (1977).

L.I.Dzhgarkava, V.R.Garsevanishvili, L.N.Glonti, S.V.Goloskokov,
Yu.M.Kazarinov, S.P.Kuleshov, V.A.Matveev, G.G.Macharashvili,
V.K.Mitrjushkin, JINR, E2-10971, Dubna (1977).

Литература

1. Н.Н.Боголюбов, Д.В.Ширков. Введение в теорию квантованных полей. "Наука", М., 1976.
2. Н.Н.Боголюбов, Б.В.Медведев, М.К.Поливанов. Вопросы теории дисперсионных соотношений. Физматгиз. М., 1958.
3. А.А. Logunov, А.Н. Tavkhelidze. Nuovo Cim., 29 (1963) 380.
В.Г.Кадышевский, А.Н.Тавхелидзе. В со.: Проблемы теоретической физики (посвященном 60-летию Н.Н.Боголюбова), "Наука", М., 1969.
4. D.I.Blokhintsev. Nucl.Phys., 31 (1962) 628.
5. O.A.Khrustalev, V.I.Savrin, N.Ye.Tyurin. JINR E2-4479 (1969) Dubna.
6. B.M.Barbashov, S.P.Kuleshov, V.A.Matveev, A.N.Sissakian, A.N.Tavkhelidze. Nuovo Cim., 4A (1971) 182.
7. S.P.Alliluyev, S.S.Gershtein, A.A.Logunov. Phys.Lett., 18(1965), 195.
8. С.П.Кулешов, В.А.Матвеев, А.Н.Сисакян, М.А.Смондырев, А.Н.Тавхелидзе. ЭЧАЯ, Т.5, №1 (1974).
A.N.Sissakian. "Proceedings of the JINR-CERN School of Physics"; JINR, E2-9086, Dubna (1975).
9. A.Wroblewski. Rapporteur talk on VIII Int.Symp. on Multiparticle Dynamics. June, 1977.
10. И.В.Андреев, И.М.Дремин, УФН, 122 (1977) 37.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 ноября 1977 года.