

75637

K-887

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2 - 13043

КУДИНОВ

Анатолий Васильевич

ПРЕДАСИМПТОТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ
В ЭКСКЛЮЗИВНОМ РАССЕЯНИИ АДРОНОВ
НА БОЛЬШИЕ УГЛЫ

Специальность 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1980

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

С.В.Голоскоков

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

П.Н.Боголюбов

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

Р.Н.Фаустов

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

Автореферат разослан " " _____ 1980 года.

Защита диссертации состоится " " _____ 1980 года на заседании специализированного ученого совета К-047.01.01 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

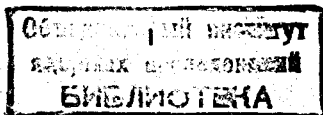
Изучение упругого и квазиупругого рассеяния адронов при высоких энергиях является одной из актуальных задач физики элементарных частиц. Надежным базисом для ее решения продолжают оставаться общие принципы квантовой теории поля, среди которых следует особо отметить развитое в основополагающих работах Н.Н.Боголюбова [1,2] представление об амплитуде рассеяния как единой аналитической функции кинематических переменных, связывающей физические процессы в разных каналах. Дальнейшее развитие этой концепции А.А.Логоновым [3,4] привело к доказательству асимптотических соотношений для полных и дифференциальных сечений. Эти фундаментальные положения могут служить критерием правильности конкретных подходов и помогают найти пути их возможного уточнения.

Одним из результатов исследований на этой основе взаимодействия адронов при высоких энергиях стало представление о наличии двух механизмов взаимодействия, доминирующих в процессах с малыми и большими переданными импульсами. При упругом рассеянии на малые углы адроны ведут себя как рыхлые протяженные объекты. Это приводит к быстрому экспоненциальному убыванию дифференциальных сечений с ростом передач импульса. В квантовой теории такому характеру взаимодействия на больших расстояниях соответствует принцип гладкости локального взаимодействия [5,6].

В рассеянии на большие углы существенную роль играют особенности взаимодействия на малых расстояниях. Предположение о наличии внутри адронов точечных составляющих - кварков и атомном характере их взаимодействия на малых расстояниях позволило объяснить [7,8] основную закономерность поведения дифференциальных сечений в этой кинематической области - степенной характер их убывания при асимптотически высоких энергиях:

$$\frac{d\sigma}{dt} \sim \frac{1}{s^N} f(t/s); \quad s, t \rightarrow \infty; \quad t/s = \text{const} \quad (I)$$

(s, t, u - обычные мандельштамовские переменные двухчастичной реакции). Однако в настоящее время дифференциальные сечения упругого рассеяния на большие углы экспериментально промерены для



значений $\Delta \lesssim 50$ (ГэВ)². При этих энергиях для них еще не наступает асимптотический режим поведения. Поэтому в настоящее время актуальна проблема исследования предасимптотических эффектов, возникающих при совместном действии двух механизмов взаимодействия, один из которых является доминирующим.

Цель работы состоит в формулировке и применении приближенного метода, позволяющего последовательно описать в высокоэнергетическом упругом и квазиупругом рассеянии адронов на большие углы предасимптотические эффекты, обусловленные взаимодействием адронов на больших расстояниях.

Научная новизна и практическая ценность

В диссертации дается анализ предасимптотических эффектов в эксклюзивном рассеянии адронов на большие углы при высоких энергиях.

Для рассеяния скалярных частиц в рамках квазипотенциального подхода впервые последовательно изучены поправки к асимптотической амплитуде рассеяния, связанные с взаимодействием на больших расстояниях. Учет этих поправок позволяет установить корреляцию между асимптотическим поведением амплитуды рассеяния в области малых передач импульса и предасимптотическим поведением амплитуды в области больших передач импульса.

Новым вкладом в теорию является обобщение построенного приближенного метода на случай рассеяния частиц со спинами 0, 1/2 и 1/2, 1/2, что дает возможность использовать полученные представления для описания реальных процессов мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния.

Предложен новый асимптотический метод определения угловых зависимостей высокоэнергетического адрон-адронного рассеяния на большие углы. Метод позволяет правильно воспроизвести соотношения между дифференциальными сечениями различных процессов.

Предасимптотические представления дифференциальных сечений рассеяния впервые использованы для описания и интерпретации имеющихся экспериментальных данных по эксклюзивным адронным процессам с большими переданными импульсами. Новым результатом являются полученные при этом количественные предсказания для величин эффективных степеней, характеризующих отклонения от автомодельности (I). Эти предсказания, а также оценки поляризации-

онных эффектов дают основание для постановки новых экспериментов.

Для защиты выдвигаются следующие основные результаты, полученные в диссертации:

1. Исследована проблема описания предасимптотических эффектов в высокоэнергетическом рассеянии на большие углы, обусловленных взаимодействием на больших расстояниях. На примере рассеяния скалярных частиц изучена структура поправочных функций. Получены численные оценки величины предасимптотических эффектов.

2. На основе приближенного метода решения квазипотенциальных уравнений, учитывающих тензорную структуру взаимодействия, изучены предасимптотические эффекты в рассеянии частиц со спинами 0, 1/2 и 1/2, 1/2 на большие углы. В рамках принципа χ_3 -инвариантности взаимодействия при высоких энергиях и больших передачах импульса получены представления спиральных амплитуд этих процессов с учетом поправочных членов и вклада обменных сил.

3. Угловые зависимости высокоэнергетического упругого мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния с большими переданными импульсами исследованы с помощью асимптотического метода, основанного на совместном использовании свойств аналитичности и SU(3)-симметрии амплитуд, а также общих эмпирических закономерностей имеющихся экспериментальных данных. Получены единые параметризации угловых зависимостей ряда процессов, содержащие малое число свободных параметров.

4. Построенные асимптотические и предасимптотические представления дифференциальных сечений применены для обработки экспериментальных данных по упругому π^+p^- , pp^- и pn^- рассеянию на большие углы. Получено хорошее согласие теоретических кривых с экспериментом. Исследованы количественные характеристики и устойчивость предасимптотических эффектов.

5. Сделаны предсказания для угловых зависимостей упругого π^+p^- и pp^- рассеяния на большие углы и для величины эффективных степеней, характеризующих отклонения от автомодельности в процессах π^+p^- , pp^- и pn^- рассеяния. Предсказания находятся в согласии с результатами недавних экспериментов.

Апробация диссертации

Основные материалы диссертации неоднократно докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного ин-

ститута ядерных исследований, сессии ОЯФ АН СССР (1979), Международных семинарах по проблемам физики высоких энергий и квантовой теории поля, Серпухов (1978, 1979).

Публикации

По результатам диссертации опубликовано 8 статей.

Объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав основного содержания, приложения и заключения, содержит 100 страниц машинописного текста, 21 рисунок и библиографический список литературы из 103 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведен обзор затрагиваемых в диссертации проблем и дается обоснование их значения для решения задачи исследования взаимодействия адронов при высоких энергиях.

В первой главе диссертации рассмотрена проблема описания предасимптотических эффектов в высокоэнергетическом упругом рассеянии тождественных скалярных частиц на большие углы. Изучение этого простейшего процесса позволяет последовательно развить метод вычисления поправок к асимптотической амплитуде, обусловленных взаимодействием на больших расстояниях. Глава состоит из трех параграфов.

Подчеркнем, что для решения поставленной задачи необходим формализм, позволяющий единым образом описывать взаимодействие на малых и больших расстояниях. Такую возможность дает квазипотенциальный подход Логанова-Гавхелидзе [9,10]. Он сочетает в себе строгость основных положений квантовой теории поля с наглядностью физической интерпретации и допускает эффективное использование эвристических соображений о характере взаимодействия частиц при высоких энергиях.

В первом параграфе рассмотрено описание в рамках квазипотенциального подхода асимптотических амплитуд рассеяния на малые и большие углы для широкого класса квазипотенциалов, удовлетворяющих интегральному представлению:

$$g(\lambda, \vec{\Delta}) = g(\lambda) \int_0^{\infty} dx \rho(\lambda, x) \exp(-x \vec{\Delta}^2); t = -\vec{\Delta}^2 \quad (2)$$

Основная зависимость от энергии выделена в виде фактора $g(\lambda)$, степенным образом зависящего от λ .

Двум различным механизмам взаимодействия, проявляющимся на больших и малых расстояниях, сопоставим "мягкий" и "жесткий" асимптотические квазипотенциалы. Они аппроксимируют полный квазипотенциал $g(\lambda, \vec{\Delta})$ в областях малых и больших передач импульса и задают соответствующие асимптотики амплитуды рассеяния.

Специфику взаимодействия точечных составляющих адронов на малых расстояниях правильно передают "жесткие" асимптотические квазипотенциалы, функции плотности которых имеют ненулевой слабый предел [II]:

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \lambda^{M-1} \rho(\lambda, x = \frac{1}{2}\lambda) = \psi(\eta); 0 < \eta < \infty; M > 0. \quad (3)$$

Возникающее для таких квазипотенциалов асимптотическое представление амплитуды рассеяния на большие углы приводит к следующей наглядной картине рассеяния. Отклонение частиц на большой угол есть результат однократного рассеяния на "жесткой" составляющей адрона. В начале и в конце процесса имеют место многократные перерассеяния на малые углы, вследствие чего в амплитуде появляется эйкональный фактор, характеризующий прозрачность частицы на малых прицельных расстояниях. Величина этого фактора определяется "мягким" асимптотическим квазипотенциалом, т.е. взаимодействием на больших расстояниях. Таким образом, для асимптотических амплитуд рассеяния на большие углы вклады взаимодействия на малых и больших расстояниях факторизуются.

Для описания предасимптотических эффектов, которому посвящен второй параграф, достаточно найти поправки, связанные с мягкими перерассеяниями. Соответствующее разложение амплитуды идет по обратным степеням большого импульса сталкивающихся частиц, вычислены поправки двух порядков. Показано, что их суммирование приводит, как и в случае асимптотической амплитуды, к выделению общего эйконального фактора. Нефакторизующаяся часть поправок может быть представлена в виде квазипотенциала с модифицированной функцией плотности. В каждом порядке разложения эта эффективная плотность равна произведению плотности "жесткого" асимптотического квазипотенциала и некоторого полинома по степеням

параметра α , коэффициенты которого выражаются через моменты и корреляционные функции плотности "мягкого" асимптотического квазипотенциала. Следует подчеркнуть важную роль свойства гладкости взаимодействия на больших расстояниях. Именно гладкость "мягкого" асимптотического квазипотенциала гарантирует конечность поправочных коэффициентов и тем самым осмысленность построенного разложения.

В третьем параграфе общие предасимптотические представления конкретизированы для асимптотических гауссова "мягкого" и степенного "жесткого" квазипотенциалов. Проведенные на основе этих формул численные оценки показывают, что для значений $\Delta \lesssim 50$ (ГэВ)² вклад поправок в дифференциальные сечения может достигать 30%. В заключение данного параграфа нерелятивистский аналог развитого метода использован для решения уравнения Диппена-Швингера. Построено предасимптотическое представление амплитуды высокоэнергетического рассеяния на большой угол для гауссова потенциала с малой степенной добавкой.

Для описания реальных процессов мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния на большие углы в экспериментально изученной области энергий необходимы предасимптотические представления амплитуд, явно учитывающие наличие спина нуклона. Решению задачи построения таких представлений посвящена вторая глава диссертации, которая состоит из четырех параграфов.

В первом из них формулируются основы асимптотического квазипотенциального подхода к описанию рассеяния частиц со спином на большие углы. Отметим два основных отличия от рассмотренного в первой главе рассеяния тождественных скалярных частиц.

Во-первых, необходимо принять во внимание вклад обменных сил в рассеяние нетождественных частиц. Подчеркнем, что при вычислении главного асимптотического члена амплитуды и поправок двух низших порядков можно пренебречь действием обменных сил на больших расстояниях. Соответствующий обменный "мягкий" асимптотический квазипотенциал достаточно сильно подавлен по сравнению с прямым "мягким" квазипотенциалом. Следовательно, при решении квазипотенциальных уравнений достаточно учитывать обменную компоненту только "жесткого" асимптотического квазипотенциала. Развитый метод может быть с минимальными модификациями использован для нахождения поправок к определяемому этой компонентой главному асимптотическому члену амплитуды рассеяния на большие углы.

Второе отличие состоит в том, что полное описание возможных поляризационных эффектов в рассеянии частиц со спином требует введения нескольких независимых инвариантных скалярных амплитуд. Каждой из них можно сопоставить "жесткий" асимптотический квазипотенциал с определенной тензорной структурой. Использование требования γ_5 -инвариантности взаимодействия при высоких энергиях и больших передачах импульса позволяет выделить асимптотически доминирующие тензорные компоненты, что особенно важно для практического применения полученных формул.

Второй и третий параграфы посвящены изучению предасимптотических эффектов в рассеянии частиц со спинами 0, 1/2 и 1/2, 1/2 на большие углы. Вычислены поправки к асимптотическим амплитудам двух порядков, что позволяет последовательно найти поправки низшего порядка к дифференциальным сечениям. Тензорная структура "мягкого" асимптотического квазипотенциала была выбрана исходя из условия, чтобы при рассеянии на малые углы амплитуды с переворотом спина были малы по сравнению с амплитудами без переворота спина. Предасимптотические представления спиральных амплитуд выписаны для произвольных γ_5 -инвариантных "жестких" квазипотенциалов.

Отметим, что в случае рассеяния спинорных частиц предположение о зарядовой независимости взаимодействия и явный учет обменных сил позволяют написать единые формулы для амплитуд процессов рассеяния нуклонов из одного дублета.

В четвертом параграфе на основе полученных предасимптотических представлений спиральных амплитуд конкретных процессов произведена обработка экспериментальных данных по дифференциальным сечениям упругого π^+p , pp и $p\bar{p}$ - рассеяния на большие углы. При этом выбирались различные параметризации "жестких" асимптотических квазипотенциалов.

Оценить роль предасимптотических эффектов позволяет сравнение результатов обработок, основанных на асимптотических и предасимптотических формулах для одного и того же "жесткого" квазипотенциала. Поэтому сначала были выбраны параметризации "жестких" квазипотенциалов, уже применявшиеся ранее для асимптотического анализа данных. Показано, что учет поправок позволяет при практически неизменном числе свободных параметров существенно улучшить качество описания. Последнее особенно важно и свиде-

тельность об адекватности метода, так как в рассматриваемой области энергий поправки велики и могли бы испортить описание. Количественной характеристикой поправок могут служить величины эффективных степеней, описывающие конечноэнергетические отклонения от автомодельности (I):

$$\frac{d\sigma}{dt} \Big|_{z=\text{const}} \sim \frac{1}{\Delta^{\alpha(\Delta, z)}}, \quad (4)$$

где $z = \cos \Theta$ - косинус угла рассеяния в с.ц.м. Найденные аппроксимации дифференциальных сечений с учетом предасимптотических эффектов позволяют вычислить величины этих степеней, причем полученные предсказания согласуются с результатами недавних экспериментов. Подчеркнем, что использованный набор данных не позволяет определить эффективные степени непосредственно из эксперимента модельно-независимым образом.

В заключение данного параграфа предложен конкретный вид зарядово-независимого "жесткого" асимптотического квазипотенциала, пригодного для совместного описания pp - и $p\bar{p}$ -рассеяния. Результаты численного счета показывают хорошее согласие теоретических кривых с экспериментом.

Третья глава диссертации посвящена изучению асимптотических угловых зависимостей высокоэнергетического адрон-адронного рассеяния на большие углы. В ней также дан анализ устойчивости предасимптотических эффектов по отношению к выбору параметризации "жесткого" асимптотического квазипотенциала. Глава состоит из четырех параграфов.

В первом параграфе изложены основы асимптотического метода определения угловых зависимостей. Мы исходим из ограничений на их форму, вытекающих из существования степенных автомодельных асимптотик и двойных дисперсионных соотношений для амплитуды рассеяния на большие углы [13]. Использование $SU(3)$ -симметрии, кроссинг-симметрии, γ_5 -инвариантности и общих эмпирических закономерностей имеющихся экспериментальных данных позволяет получить единые формулы для угловых зависимостей ряда процессов, содержащие малое число свободных параметров.

Заметим, что в рамках квазипотенциального описания рассеяния асимптотические угловые зависимости определяются только "жестким" асимптотическим квазипотенциалом. Поэтому метод нахождения этих

зависимостей позволяет определить форму "жесткого" квазипотенциала. Последнее особенно важно, так как общей для всех феноменологических подходов является проблема выбора эффективных параметризаций для неизвестных величин теории.

Во втором параграфе рассмотрены реакции высокоэнергетического πp - и $K p$ -рассеяния на большие углы. Получены единые представления асимптотических амплитуд рассеяния заряженных мезонов на протонах и связанных с ними процессов аннигиляции, содержащие малое число свободных параметров. Определив значения этих параметров из экспериментальных данных по $\pi^+ p$ -рассеянию на большие углы, мы получаем предсказания для угловых зависимостей остальных процессов. Отметим, что при выводе асимптотических формул постулировалась точная зарядовая независимость $\pi^+ p$ -рассеяния, являющаяся приближенной. Вследствие этого полученные формулы справедливы лишь при достаточно высоких энергиях.

Процессы упругого нуклон-нуклонного рассеяния на большие углы изучены в третьем параграфе. Построены асимптотические представления амплитуд pp -, $p\bar{p}$ - и $p\bar{p}$ -рассеяния, содержащие три свободных параметра.

Четвертый параграф посвящен сравнению асимптотических формул с экспериментом и анализу устойчивости предасимптотических эффектов.

Неизвестные параметры асимптотических представлений определены исходя из экспериментальных данных по дифференциальным сечениям упругого $\pi^+ p$ -, pp - и $p\bar{p}$ -рассеяния на большие углы, причем получено хорошее количественное описание данных. Сделаны предсказания для дифференциальных сечений процессов $K^+ p$ - и $p\bar{p}$ -рассеяния, а также процессов аннигиляции $p\bar{p} \rightarrow \pi^+ \pi^-$ и $p\bar{p} \rightarrow K^+ K^-$. Все они согласуются с полученными в настоящее время экспериментальными данными.

Возможность изучения мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния с помощью асимптотических и предасимптотических представлений для различных "жестких" асимптотических квазипотенциалов позволяет поставить вопрос об устойчивости предасимптотических эффектов. Их количественными характеристиками являются величины эффективных степеней и поляризаций, описывающих конечноэнергетические отклонения от автомодельности и нарушения γ_5 -инвариантности соответственно. Показано, что эффективные степени

являются в достаточной мере модельно-независимыми, в то время как величины поляризации этим свойством не обладают. Последнее связано с неполным учетом нарушений γ_5 -инвариантности.

Приложение содержит подробности вычисления и таблицу основных интегралов, необходимых для определения величины поправок.

В заключении кратко перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Литература

1. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. Введение в теорию квантованных полей, 3-е изд., М., Наука, 1976.
2. Боголюбов Н.Н., Медведев Б.В., Поливанов М.К. Вопросы теории дисперсионных соотношений, М., Физматгиз, 1958.
3. Logunov A.A., Nguen Van Hieu, Todorov I.T., Khristalev O.A., Phys. Lett., 1963, 7, p. 69.
4. Логунов А.А., Нгуен Ван Хьеу, Тодоров И.Т., Хрусталеv О.А. ЖЭТФ, 164, 46, с. 1079.
5. Blokhintsev D.I. Nucl. Phys., 1962, 31, p. 628.
6. Alliluyev S.P., Gershtein S.S., Logunov A.A. Phys. Lett., 1965, 18, p. 195.
7. Matveev V.A., Muradyan R.M., Tavkhelidze A.N. Lett. Nuovo Cim., 1973, 7, p. 719.
8. Brodsky S.J., Farrar G.R. Phys. Rev. Lett., 1973, 31, p. 1153.
9. Logunov A.A., Tavkhelidze A.N. Nuovo Cim., 1963, 299, p. 380.
10. Кадышевский В.Г., Тавхелидзе А.Н. В сб. "Проблемы теоретической физики", М., Наука, 1969.
11. Голоскоков С.В., Кулешов С.П., Матвеев В.А., Смондырев М.А. ТМФ, 1975, 24, с. 24.
12. Логунов А.А., Мещеряков В.А., Тавхелидзе А.Н. ДАН СССР, 1962, 142, с. 317.
13. Uematsu T. Progr. Theor. Phys., 1976, 55, p. 1224.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Голоскоков С.В., Кудинов А.В., Кулешов С.П. ТМФ, 1979, 39, с. 185.
ОИЯИ, E2-II539, Дубна, 1978.
2. Голоскоков С.В., Кудинов А.В., Кулешов С.П. ЯФ, 1979, 29, с. 1070.
ОИЯИ, E2-II633, Дубна, 1978.
3. Голоскоков С.В., Кудинов А.В., Кулешов С.П. В сб. "Проблемы физики высоких энергий и квантовая теория поля", т. I, с. 226, Серпухов, 1978.
4. Goloskokov S.V., Koudinov A.V., Kuleshov S.P. Lett. Nuovo Cim., 1979, 24, p. 110
5. Goloskokov S.V., Koudinov A.V., Kuleshov S.P. JINR, E2-12328, Dubna, 1979.
6. Голоскоков С.В., Кудинов А.В., Кулешов С.П. ТМФ, 1979, 40, с. 373.
7. Goloskokov S.V., Koudinov A.V., Kuleshov S.P. JINR, E2-12637, Dubna, 1979.
8. Голоскоков С.В., Кудинов А.В., Кулешов С.П. ОИЯИ, P2-I2693, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 декабря 1979 года.