

С - 298

2-82-537

СЕЛЮГИН
Олег Викторович

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
УПРУГОЕ АДРОННОЕ РАССЕЯНИЕ
В ШИРОКОЙ ОБЛАСТИ ПЕРЕДАЧ ИМПУЛЬСА

Специальность: 01.04.02 – теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

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

В.И. Саврин,

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

Л.А. Слепченко.

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

Автореферат разослан " " _____ 1982 г.

Защита диссертации состоится " " _____ 1982 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 проблемы

Упругое адрон-адронное рассеяние в области малых углов играет важную роль в понимании картины сильных взаимодействий при высоких энергиях.

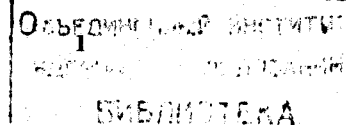
Прочным фундаментом для строгого построения теории сильных взаимодействий являются результаты, полученные на основе общих принципов квантовой теории поля. Центральное место среди них занимает введенное в работах Н.Н. Боголюбова ^{/1/} представление об амплитуде рассеяния как единой аналитической функции кинематических переменных, связывающей физические процессы в разных каналах. Это представление стало базисом многих развиваемых в настоящее время теоретических и феноменологических подходов к описанию сильных взаимодействий при высоких энергиях.

Среди нашедших широкое применение в физике высоких энергий подходов необходимо выделить квазипотенциальный метод А.А. Логунова и А.Н. Тавхелидзе ^{/2/}, в рамках которого имеется возможность сочетать строгость основных принципов квантовой теории поля с использованием как эмпирических, так и эвристических соображений о характере взаимодействия частиц.

Наличие динамического уравнения для амплитуды рассеяния позволяет в квазипотенциальном подходе найти главный асимптотический член, а также поправки к нему в различных областях передачи импульса ^{/3,4/}. Используя гипотезу о существовании гладкого локального квазипотенциала, можно получить стандартное эйкональное представление для амплитуды рассеяния на малые углы. Теоретическая интерпретация и обоснование свойств гладкости квазипотенциала были рассмотрены с различных точек зрения: на основе условия унитарности для амплитуды двухчастичного рассеяния ^{/5/}, принципа автомодельности ^{/6/}, приближения прямолинейных путей ^{/7/}.

Использование идей о гладкости локального квазипотенциала позволило в рамках квазипотенциального подхода дать качественное объяснение широкому спектру наблюдаемых закономерностей процессов сильного взаимодействия адронов при высоких энергиях (см., например, обзор ^{/8/}).

Специфика поведения дифференциальных сечений в областях малых и



больших передач импульса оказывается весьма критичной для выбора модели, описывающей адрон-адронное взаимодействие при высоких энергиях. Для адекватного описания упругих реакций наиболее эффективно используются модели, в которых адрон представляется как система, имеющая достаточно сложную внутреннюю структуру. Однако, несмотря на существенный произвол в выборе вида взаимодействия и большое количество свободных параметров, в целом до настоящего времени не удавалось получить единую количественную картину описания адронного рассеяния в широкой области передач импульса.

Рассматривая в основном протон-протонное рассеяние, большинство моделей имеет малую предсказательную силу, особенно для других упругих адронных реакций, таких, как антипротон-протонное и пион-протонное рассеяние. Поэтому актуальной является задача о построении модели, которая позволила бы количественно описать имеющийся экспериментальный материал в широкой области передач импульса и предложила бы единый подход к описанию различных упругих реакций. Особенно это важно в настоящий момент, когда ставятся эксперименты по pp и $\bar{p}p$ упругому рассеянию во $FNAL$ и $CERN$ и разрабатывается научная программа для фактически нового поколения ускорителей, таких, как УНК, в TeV области энергии столкновения.

Основной целью настоящей работы является построение модели упругого адрон-адронного рассеяния, учитывающей структуру адрона, которая приводит к амплитуде рассеяния, удовлетворяющей требованиям аналитических свойств, и позволяет единым образом количественно передать все основные свойства различных адрон-адронных упругих реакций в широкой области передач импульса.

Научная новизна и практическая ценность

В диссертации предложена новая модель высокоэнергетического упругого адрон-адронного рассеяния на малые углы с учетом эффектов мезонной "шубы" адрона. Полученная в модели амплитуда рассеяния, удовлетворяющая требованиям аналитичности, позволила впервые с единой точки зрения количественно описать упругое адронное рассеяние в широкой области передач импульса.

Исследование в рамках модели энергетической зависимости дифференциальных сечений протон-протонного рассеяния подтвердило справедливость гипотезы геометрического скейлинга в широкой области передач импульса при энергиях ISR .

Предложенная модель позволила впервые не только единым образом количественно описать экспериментальные данные в области малых и

больших передач импульса, но и сделать ряд новых предсказаний о характерных свойствах дифференциальных сечений адрон-адронного упругого рассеяния в различных областях переданного импульса, таких, как зависимость параметра наклона от t , наличие единственного дифракционного минимума и его положение в пион-протонном и протон-антипротонном рассеянии. Эти предсказания модели нашли затем свое подтверждение в поставленных во $FNAL$ и $CERN$ экспериментах.

Для защиты выдвигаются следующие основные результаты, полученные в диссертации

1. Построена модель высокоэнергетического адронного рассеяния, учитывающая вклад мезонной "шубы" адрона. Получен конкретный вид гладкого локального квазипотенциала, который приводит к амплитуде рассеяния, удовлетворяющей требованиям аналитичности.

2. В широкой области передач импульса получено количественное описание протон-протонного рассеяния с тремя свободными параметрами при энергиях ISR . Сделано предсказание, которое затем нашло свое подтверждение в экспериментах во $FNAL$, о плавном изменении наклона дифракционного пика в области малых передач импульса для различных адрон-адронных реакций.

3. В рамках предложенной модели получено модифицированное выражение для геометрического скейлинга и исследована энергетическая зависимость дифференциальных сечений в области больших передач импульса.

4. Для случая высокоэнергетического упругого протон-протонного рассеяния проведен сравнительный анализ гипотез геометрического скейлинга и факторизованного эйконала. Показано, что гипотеза геометрического скейлинга с $\sigma_{tot} \sim \ln s$ лучше отвечает экспериментальным данным в широкой области переданного импульса.

5. Получено единое количественное описание в области малых и больших передач импульса с использованием современного экспериментального материала при $p_L \geq 200$ ГэВ и $0,011 \leq |t| \leq 14,2$ ГэВ² для упругого протон-протонного рассеяния и сделано предсказание для протон-антипротонного рассеяния при $p_L \geq 50$ ГэВ в широкой области переданного импульса.

6. В рамках предложенной единой картины описания упругих адронных реакций объяснено наличие резко выраженной дифракционной картины в протон-антипротонном рассеянии при $p_L = 50$ ГэВ и предсказан дифракционный минимум в пион-протонном упругом рассеянии в области

$3,5 + 4,2 \text{ ГэВ}^2$ при $p_{\perp} = 200 \text{ ГэВ}$, что нашло экспериментальное подтверждение во FNAL.

Апробация диссертации

Основные материалы диссертации докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, на сессиях ОЯФ АН СССР, на международных конференциях по физике высоких энергий и квантовой теории поля: "Адрон-79", Чехословакия, 1979 г., "Int. Conference on High Energy Phys", Portugal, 1981 г., "IV Международный семинар", Протвино, 1981 г., и ряде других.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 7 статей.

Объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 99 страниц машинописного текста, 26 рисунков, 5 таблиц и библиографический список литературы из 127 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан обзор современного состояния проблем, рассматриваемых в диссертации, и сформулированы основные направления работы.

Первая глава посвящена построению модели для высокоэнергетического упругого адрон-адронного рассеяния на малые углы.

В первых двух параграфах главы исследуется вопрос об энергетической зависимости амплитуд с переворотом спина в случае нуклон-нуклонного рассеяния. При этом рассеяние адронов на малые углы рассматривается в рамках квазипотенциального подхода Логанова-Тавхелидзе. Основываясь на гипотезе о существовании гладкого локального квазипотенциала, можно считать, что в пределе асимптотически высоких энергий основной вклад в амплитуду рассеяния дает только главный член ее разложения по малому параметру - обратной степени импульса в системе центра масс. Обобщенное эйкональное представление для главного асимптотического члена амплитуды рассеяния, рассмотренное в §. I, используется во втором параграфе для получения в явном виде амплитуд с переворотом спина в случае упругого протон-протонного рассеяния. На основе требования об эйкональном характере рассеяния адронов высоких энергий на малые углы показывается, что в пределе высоких энергий эти амплитуды стремятся к нулю степенным образом.

Это позволяет в третьем параграфе рассмотреть бесспиновую модель высокоэнергетического упругого адронного рассеяния, предполагающую, что адрон можно рассматривать как некоторую центральную часть - "кор", где сосредоточены валентные кварки, которая окружена мезонной "шубой".

Аппроксимация полученной в модели эйкональной фазы, являющаяся суммой вкладов рассеяния "кора" и "шубы" одного адрона на "коре" другого, в четвертом параграфе позволяет вычислить в явном виде квазипотенциал и амплитуду высокоэнергетического адрон-адронного рассеяния:

$$V(\tau) = \frac{2iS\mu h}{\pi} \mathcal{H}_0(\mu\sqrt{b^2 + \tau^2}),$$

$$\frac{1}{i} T(s, t) = -s \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(-h)^n}{(n-1)!} \frac{\mu}{(n^2\mu^2 - t)^{3/2}} (1 + b\sqrt{n^2\mu^2 - t}) e^{-b\sqrt{n^2\mu^2 - t}}.$$

Полученный вид квазипотенциала удовлетворяет условию гладкости и может быть представлен в виде суперпозиции потенциалов Юкавы. А учет мезонной "шубы" адрона позволил восстановить аналитические свойства амплитуды рассеяния по передаче импульса. При этом энергетическая зависимость амплитуды рассеяния выбирается исходя из локальных дисперсионных соотношений и гипотезы геометрического скейлинга.

В главе II на основе полученного вида амплитуды рассеяния проводится исследование поведения дифференциальных сечений упругого протон-протонного рассеяния при энергиях ISR. На основе современных экспериментальных данных, обзор которых дан в первом параграфе этой главы, во втором параграфе показывается, что в рамках модели с учетом неупругих эффектов возможно количественно получить все основные свойства поведения дифференциальных сечений упругого протон-протонного рассеяния в широкой области передачи импульса.

В третьем параграфе показывается, что при больших передачах импульса поведение дифференциальных сечений удовлетворяет модифицированной форме геометрического скейлинга

$$t^2 \frac{d\sigma}{dt} \sim \text{const} \cdot \exp(-\beta\sqrt{\sigma_{tot}} \cdot |t|)$$

и проводится анализ энергетической зависимости дифференциальных сечений как при фиксированных передачах импульса, так и при фиксированных углах рассеяния.

Успешное количественное описание высокоэнергетического протон-протонного рассеяния позволило в четвертом параграфе произвести сравнительный анализ гипотез о характере энергетической зависимости эйкональной фазы. В результате показано, что гипотеза геометрического скейлинга с $\sigma_{tot} \sim \ln s$ лучше других отвечает экспериментальному материалу в широкой области переданного импульса.

Учет в амплитуде рассеяния членов $\sim 1/\sqrt{s}$ позволил в главе III на основе единого подхода количественно исследовать поведение дифференциальных сечений различных упругих адронных реакций в широкой области передач импульса.

В первом параграфе рассмотрено протон-протонное рассеяние при энергиях $P_L \gg 200$ ГэВ. Показано, что небольшая модификация вида эйкональной фазы, связанная с учетом обмена тяжелыми мезонами и эффектов $\sim 1/\sqrt{s}$, позволяет единым образом количественно описать область больших и малых передач импульса при рассмотрении полного набора экспериментальных данных в этой энергетической области.

Во втором параграфе с использованием параметров модели, полученных при описании упругого протон-протонного рассеяния, и с применением $S \rightarrow u$ кроссинга предсказаны дифференциальные сечения упругого протон-антипротонного рассеяния в широкой области передач импульса. Полученные результаты позволили объяснить наличие дифракционного минимума в протон-антипротонном рассеянии при $P_L = 50$ ГэВ.

В рамках модели получено также предсказание о наличии дифракционного минимума в пион-протонном упругом рассеянии при $P_L = 200$ ГэВ в области $3,5 + 4,2$ ГэВ² по передаче импульса, которое нашло затем свое подтверждение в эксперименте, проводившемся во FNAL.

В третьем параграфе проводится исследование изменения параметра наклона дифференциальных сечений адрон-адронного упругого рассеяния в широкой области переданного импульса. В рамках модели получено предсказание о плавном изменении наклона дифракционного пика в области малых передач импульса для различных адрон-адронных реакций. Эта предсказанная общая особенность упругого адронного рассеяния была также подтверждена для пион-протонного и протон-протонного рассеяния в статистически хорошо обеспеченном эксперименте во FNAL.

В заключении кратко перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Литература

1. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. Введение в теорию квантованных полей, ИИТМ, М., 1957;
Н.Н. Боголюбов, Б.В. Медведев, М.К. Поливанов. Вопросы теории дисперсионных соотношений. Физматгиз, М., 1958.
2. A.A. Logunov, A.N. Tavkhelidze. Quasioptical Approach in Quantum Field Theory. Nuove Cim., 1963, v.29, p. 380.
3. В.Р. Гарсеваншвили, В.А. Матвеев, Л.А. Слепченко. Рассеяние адронов при высоких энергиях и квазипотенциальный подход в квантовой теории поля. ЭЧАЯ, Атомиздат, М., 1970, I, с. 92.
4. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, А.В. Кудинов. Предасимптотические эффекты в высокоэнергетическом упругом рассеянии адронов на большие углы. ЭЧАЯ, Атомиздат, М., 1981, I2, с. 614.
5. А.А. Логунов, О.А. Хрусталев. Вероятностное описание рассеяния при высоких энергиях и гладкий квазипотенциал. ЭЧАЯ, Атомиздат, М., 1970, I, с. 71.
6. В.А. Матвеев, Р.М. Мурадян, А.Н. Тавхелидзе. Ограничения на поведение сечений упругих и неупругих процессов при высоких энергиях. ЭЧАЯ, Атомиздат, М., 1971, 3, с. I.
7. V.M. Barbachov, S.P. Kuleshov, V.A. Matveev, A.N. Sisakian, A.N. Tavkhelidze. Problem of quapotential smothness in quantum field theory models. Phys. Lett., 1970, 33B, p. 419.
8. С.В. Голоскоков, В.А. Матвеев. Динамика сильных взаимодействий. XIV Международная школа молодых ученых по физике высоких энергий, Дубна, 1980, ОИЯИ, Д2-81-158, с. 205.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин. Высокоэнергетическое протон-протонное рассеяние в широкой области передач импульса. Ядерная физика, 1980, 31, с. 741.
2. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин. Геометрический скейлинг и энергетическая зависимость сечений pp -рассеяния при больших передачах импульса. Ядерная физика, 1980, 32, с. 492.
3. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин. Высокоэнергетическое протон-протонное рассеяние в широкой области передач импульса и энергетическая зависимость эйкональной фазы. Ядерная физика, 1981, 34, с. 235.
4. S.V. Goleakokov, S.P. Kuleshov, O.V. Seljugin. Model of high energy elastic hadron-hadron scattering at small angles. International conference on high energy physics. Lisbon, Portugal, 1981, v. 2d, p. 224.

5. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин. Высокоэнергетическое адрон-адронное рассеяние в модели, учитывающей вклад мезонной "шубы". Ядерная физика, 1982, 35, с. 1430.
6. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин. Изучение высокоэнергетического pp -рассеяния в модели, учитывающей мезонную шубу адрона. Проблемы физики высоких энергий и квантовой теории поля, IV Международный семинар, Протвино, 1981, т. I, с. 221.
7. S.V. Goloskokov, S.P. Kuleshov, O.V. Selugin. Dubna, 1982, preprint JINR, E2-82-109.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 июля 1982 года.