

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Т-345

2-83-108

ТЕПЛЯКОВ
Виктор Герардович

СПИНОВЫЕ ЭФФЕКТЫ
В ДИФРАКЦИОННОМ РАССЕЯНИИ АДРОНОВ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1983

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

Р.М. Мир-Касимов,

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

В.И. Саврин.

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

Автореферат разослан " " _____ 1983 года.

Защита диссертации состоится " " _____ 1983 года
на заседании специализированного совета К 047.01.01 Лаборатории
теоретической физики Объединенного института ядерных исследо-
ваний, 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

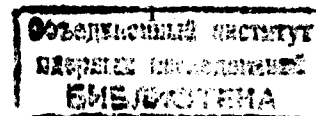
Исследование упругого рассеяния адронов при высоких энергиях является одной из центральных проблем современной физики элементарных частиц. Ее изучение играет важную роль в понимании структуры адронов и динамики сильных взаимодействий при высоких энергиях.

Процессы упругого рассеяния адронов высоких энергий рассматривались с точки зрения различных моделей и подходов, среди которых важное место занимает квазипотенциальный подход Логанова-Тавхелидзе^{/1/}. Динамическое квазипотенциальное уравнение с использованием гипотезы о существовании гладкого локального квазипотенциала, адекватно описывающего динамику сильных взаимодействий при высоких энергиях^{/2/}, позволяет найти главный асимптотический член амплитуды рассеяния, а также поправки к нему в различных областях передачи импульса.

Следует отметить, что в области малых углов рассеяния явные выражения для главного асимптотического члена амплитуды рассеяния частиц со спинами были получены лишь для определенного класса матричной структуры квазипотенциала.

Для амплитуды высокоэнергетического рассеяния бесспиновых частиц на малые углы справедливо эйкональное представление^{/3/}, которое впервые было получено в квантовой механике^{/4/} и в настоящее время используется в большинстве моделей высокоэнергетического рассеяния адронов на малые углы.

Значительный прогресс в описании поведения дифференциальных сечений рассеяния адронов в широкой области передач импульса был достигнут на основе беспиновой модели, учитывающей периферические эффекты, обусловленные наличием мезонной "шубы" адрона^{/5/}. Используемая в этой работе гипотеза о быстром вымирании спиновых эффектов с ростом энергии при рассеянии на малые углы получила достаточно широкое распространение^{/6/}. Однако в целом вопрос о роли спиновых эффектов при высоких энергиях в настоящее время не является окончательно выясненным. Ряд моделей^{/7/} приводит к наличию медленно вымирающих с ростом энергии вкладов амплитуд с переверотом спина в дифференциальные сечения.



В связи с этим при исследовании спиновых эффектов в высокоэнергетическом рассеянии наряду с построением динамических моделей важное значение приобретает изучение следствий, к которым приводят различные предположения об энергетической зависимости спиновых амплитуд, вытекающих из общих положений квантовой теории поля.

Наиболее последовательно эта задача может быть решена в рамках квазипотенциального подхода Логанова-Тавхелидзе.

Цель настоящей работы - нахождение ограничений, налагаемых требованием справедливости эйконольного представления для амплитуды рассеяния частиц со спинами, на величину спиновых эффектов при высоких энергиях; получение физических следствий, к которым приводит наличие медленно вымирающих с ростом энергии вкладов амплитуд с переворотом спина в дифференциальные сечения; построение модели "мезонной шубы" адрона с учетом спинов взаимодействующих частиц, позволяющей передать свойства процессов рассеяния адронов в дифракционной области.

Научная новизна и практическая ценность работы

Впервые получены решения квазипотенциальных уравнений для амплитуды рассеяния частиц со спинами 0 и 1/2 и двух частиц со спинами 1/2, справедливые при высоких энергиях и малых углах рассеяния для достаточно общей матричной структуры квазипотенциала. Это обеспечивает применимость полученных формул при построении широкого класса динамических моделей высокоэнергетического рассеяния адронов, учитывающих спины частиц.

Найдены условия, задающие допустимую энергетическую зависимость квазипотенциалов, приводящих к эйконольному представлению для главного асимптотического члена амплитуды рассеяния частиц со спинами. Это позволило впервые получить ограничение сверху на величину вкладов амплитуд с переворотом спина в дифференциальные сечения высокоэнергетического мезон-нуклонного рассеяния на малые углы.

Предложен метод решения квазипотенциальных уравнений с квазипотенциалами, содержащими малые добавки, приводящие к медленно вымирающим с ростом энергии вкладам амплитуд с переворотом спина в дифференциальные сечения. Этот метод позволил получить асимптотические выражения для амплитуд без переворота и с переворотом спина в случаях мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния, с помощью которых показано, что наличие медленно вымирающих спиновых эффектов в рассеянии адронов на малые углы с необходимостью приводит к росту полных сечений.

Построена модель "мезонной шубы" для случаев мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния с учетом спинов взаимодействующих час-

тиц. Полученные на основе модели квазипотенциалы содержат малые члены, соответствующие медленно вымирающим спиновым эффектам. Это приводит к возможности роста полных сечений в области сверхвысоких энергий.

Для защиты выдвигаются следующие основные результаты, полученные в диссертации

1. Найдены в рамках квазипотенциального подхода Логанова-Тавхелидзе явные выражения для главных асимптотических членов спиральных амплитуд рассеяния частиц со спинами 0 и 1/2 и двух частиц со спинами 1/2 на квазипотенциалах с матричной структурой достаточно общего вида.

2. Получены ограничения сверху на энергетическую зависимость квазипотенциалов, вытекающие из требования об эйконольном характере рассеяния при высоких энергиях и малых углах рассеяния. Показано, что требование о справедливости эйконольного представления для амплитуды рассеяния приводит к быстрому вымиранию с ростом энергии спиновых эффектов в мезон-нуклонном и нуклон-нуклонном рассеянии на малые углы.

3. Предложен метод решения квазипотенциальных уравнений для волновых функций с квазипотенциалами, содержащими малые добавки, приводящие к медленно вымирающим с ростом энергии вкладам амплитуд с переворотом спина в дифференциальные сечения. В этом случае получены асимптотические выражения для амплитуд мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния.

4. Показано, что медленно вымирающие с ростом энергии спиновые эффекты в рассеянии адронов приводят к росту полных сечений. На основе анализа экспериментальных данных по полным сечениям сделан вывод о том, что амплитуды с переворотом спина не могут давать существенного вклада в дифференциальные сечения pp -рассеяния за вторым дифракционным максимумом.

5. Построены модели высокоэнергетического мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния, принимающие во внимание вклад мезонной "шубы" адрона с учетом спинов частиц. В рамках построенных моделей показана возможность роста полных сечений, обусловленного спиновыми эффектами.

6. Показано, что эйконольная фаза, форма которой при больших прицельных параметрах полностью определяется эффектами мезонной "шубы" адрона, позволяет количественно воспроизвести все основные свойства мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного высокоэнергетического рассеяния на малые углы.

Апробация диссертации

Основные материалы диссертации докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований и Института физики высоких энергий (г.Серпухов), сессии ОЯФ АН СССР (1982 г.), на Международном симпозиуме по поляризационным явлениям в физике высоких энергий (Дубна, 1981 г.), на семинарах Гомельского государственного университета.

Публикации

По результатам диссертации опубликовано 8 статей.

Объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав основного содержания и заключения, содержит 102 страницы машинописного текста, 13 рисунков и библиографический список литературы из 109 названий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан обзор современного состояния проблем, рассматриваемых в диссертации, и кратко изложено содержание работы.

Глава I посвящена изучению следствий, к которым приводит в рамках квазипотенциального подхода Логанова-Тавхелидзе требование справедливости эйконоального представления для амплитуды рассеяния частиц со спинами в области высоких энергий и малых углов рассеяния.

В § I рассмотрено обобщенное эйконоальное представление для главного асимптотического члена амплитуды рассеяния частиц со спинами.

В последующих параграфах главы исследуются конкретные примеры рассеяния частиц со спинами 0 и 1/2 и двух частиц со спинами 1/2. Причем в случае рассеяния частиц со спинами 0 и 1/2 исследована наиболее общая матричная структура квазипотенциала:

$$V_{0, \frac{1}{2}}(s, \vec{r}, \vec{e}) = a(s, \vec{r}) + b(s, \vec{r}) \hat{n}(-\vec{e}),$$

здесь a и b - скалярные функции,

$$\hat{n}(-\vec{e}) = \gamma_0 + \vec{\gamma} \vec{e} / |\vec{e}|,$$

\vec{e} - полусумма начального и конечного импульсов спиновой частицы в системе центра масс.

В случае рассеяния двух частиц со спинами 1/2 использовался квазипотенциал следующей матричной структуры:

$$V_{\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}^{\wedge}(s, \vec{r}, \vec{e}) = A(s, \vec{r}) + B(s, \vec{r}) [I \otimes \hat{n}(-\vec{e}) + \hat{n}(\vec{e}) \otimes I] + D(s, \vec{r}) \hat{n}(\vec{e}) \otimes \hat{n}(-\vec{e}),$$

где пренебрегается лишь слагаемыми, отвечающими псевдовекторным и псевдоскалярным обменам в t -канале.

Во втором и третьем параграфах на основе гипотезы о существовании гладкого локального квазипотенциала, адекватно описывающего динамику сильных взаимодействий, найдены явные выражения для главных асимптотических членов спиральных амплитуд мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния, справедливые в области высоких энергий и малых углов рассеяния.

В § 4, исходя из требования об эйконоальном характере рассеяния адронов высоких энергий на малые углы, найдены следующие ограничения на рост квазипотенциалов:

$$V_{0,0}(s, \vec{r}) \leq s,$$
$$V_{0, \frac{1}{2}}(s, \vec{r}) \leq \sqrt{s},$$
$$V_{\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(s, \vec{r}) \leq \text{const}.$$

Отметим, что энергетическая зависимость квазипотенциалов, соответствующая логарифмическому росту полных сечений, отвечает верхней границе этих неравенств.

Ограничения на квазипотенциалы, в свою очередь, определяют верхнюю границу энергетической зависимости спиральных амплитуд. Это позволяет сделать вывод о том, что требование справедливости эйконоального представления с необходимостью приводит к быстрому вымиранию с ростом энергии спиновых эффектов в мезон-нуклонном и нуклон-нуклонном рассеянии на малые углы.

В главе II на основе квазипотенциального уравнения для волновой функции взаимодействующих спиновых частиц в r -пространстве исследуется возможность существования малых, медленно меняющихся с ростом энергии вкладов амплитуд с переворотом спина в дифференциальные сечения рассеяния адронов. Предложен метод решения квазипотенциальных уравнений с квазипотенциалами, содержащими слагаемые, которые нарушают ограничение, вытекающее из требования справедливости эйконоального представления.

В первом параграфе главы рассматривается рассеяние частиц со спинами 0 и 1/2 на квазипотенциалах, содержащих члены с аномальным энергетическим ростом. На примере амплитуды без переворота спина в

явном виде иллюстрируется нарушение стандартного эйконольного представления. В случае рассеяния на квазипотенциале

$$\hat{V}_{0, \frac{1}{2}}(s, \vec{r}, \vec{e}) = \sqrt{s} \left[d(s, \vec{r}) \frac{\sqrt{s}}{2} + a(s, \vec{r}) + b(s, \vec{r}) \hat{n}(-\vec{e}) \right],$$

где d , a , b - слабо зависящие от энергии скалярные функции, при условии малости аномального члена

$$d(s, \vec{r}) \ll 1$$

получены асимптотические выражения для спиральных амплитуд в области высоких энергий и малых углов рассеяния.

Аналогичная задача для случая рассеяния двух частиц со спинами $1/2$ решается во втором параграфе, где найдены асимптотические выражения для амплитуд без переворота и с переворотом спина на квазипотенциале

$$\hat{V}_{\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(s, \vec{r}, \vec{e}) = \frac{\sqrt{s}}{2} d(s, \vec{r}) + a(s, \vec{r}) + \left[\frac{\sqrt{s}}{2} \beta(s, \vec{r}) + b(s, \vec{r}) \right] \cdot$$

$$\cdot [I \otimes \hat{n}(-\vec{e}) + \hat{n}(\vec{e}) \otimes I] + d(s, \vec{r}) \hat{n}(\vec{e}) \otimes \hat{n}(-\vec{e})$$

при условии

$$d(s, \vec{r}) \ll 1, \quad \beta(s, \vec{r}) \ll 1.$$

Показано, что в обоих случаях наличие в квазипотенциале аномально зависящих от энергии членов, соответствующих медленно вымирающим вкладам в амплитуду с переворотом спина, приводит к модификации эйконольного представления для амплитуды рассеяния. В случае малости аномальных членов выражение для главного асимптотического члена амплитуды без переворота спина по форме совпадает с эйконольным, но эйконольная фаза в этом случае оказывается быстро растущей с ростом энергии, что приводит к росту полных сечений.

Сделанное в третьем параграфе предположение о том, что эффективный радиус взаимодействия, соответствующий аномальному члену квазипотенциала, имеет порядок величины радиуса адрона, позволило использовать информацию об энергетической зависимости полных сечений при сверхвысоких энергиях для получения ограничения сверху на величину отношения амплитуд с переворотом и без переворота спина.

Оценки на допустимую величину аномальных членов квазипотенциалов, проведенные на основе экспериментальных данных по энергетической зависимости полных сечений pp -рассеяния, приводят к выводу о том, что амплитуды с переворотом спина не дают существенного вклада в дифференциальное сечение pp -рассеяния за вторым дифракционным максимумом.

В третьей главе спиновые эффекты в высокоэнергетическом рассеянии адронов изучаются на основе модели, учитывающей мезонную "шубу" частиц.

В первом и втором параграфах построена модель "мезонной шубы" для случаев мезон-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния с учетом спинов взаимодействующих частиц. Исследована матричная структура и энергетическая зависимость квазипотенциалов, полученных в модели. Вычислены вклады области больших расстояний, обусловленные мезонным облаком частиц, в эйконольные фазы, определяющие амплитуды с переворотом и без переворота спина. Показано, что учет спинов частиц в модели мезонной "шубы" адронов приводит к возможности роста полных сечений, обусловленного спиновыми эффектами, и указаны физические явления, которые могут служить косвенным указанием на его существование.

В § 3 результаты, полученные в модели, анализируются на основе экспериментальных данных по πp -, pp - и $p\bar{p}$ -рассеянию в области высоких энергий и малых углов рассеяния. Показано, что эйконольная фаза, форма которой при больших прицельных расстояниях полностью определяется эффектами мезонной "шубы" адрона, количественно воспроизводит все особенности πp - и pp -рассеяния. Амплитуда $p\bar{p}$ -рассеяния, найденная при помощи $S \leftarrow u$ кроссинга из pp -амплитуды без изменения параметров, хорошо описывает данные по протон-антипротонному рассеянию.

В заключении кратко перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, В.Г. Тепляков. Асимптотический подход к исследованию рассеяния частиц со спинами на малые углы. Теоретическая и математическая физика, 1982, 52, с. 44.
2. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин, В.Г. Тепляков. О роли спиновых эффектов в высокоэнергетическом рассеянии адронов на малые углы. Ядерная физика, 1982, 35, с. 1000.
3. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин, В.Г. Тепляков. Эйконольный характер рассеяния адронов на малые углы и роль спиновых эффектов при высоких энергиях. Труды международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. ДТ, 2-82-27, Дубна, 1981.
4. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, В.Г. Тепляков. Рост полных сечений и ограничение на величину спиновых эффектов в высокоэнергетическом рассеянии адронов на малые углы. Препринт ОИЯИ, P2-82-450, Дубна, 1982.

5. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, В.Г. Тешляков. Мезон-нуклонное рассеяние в модели, учитывающей мезонную "шубу" адрона. Препринт ОИЯИ, P2-82-632, Дубна, 1982.

6. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, В.Г. Тешляков. Спиновые эффекты протон-протонного рассеяния в модели, учитывающей мезонную "шубу" адрона. Препринт ОИЯИ, P2-82-822, Дубна, 1982.

7. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, В.Г. Тешляков. Роль спиновых эффектов в росте полных сечений нуклон-нуклонного рассеяния при сверхвысоких энергиях. Препринт ОИЯИ, P2-82-823, Дубна, 1982.

8. С.В. Голоскоков, О.В. Селюгин, В.Г. Тешляков. Рассеяние частиц высоких энергий на малые углы в динамической модели взаимодействия адронов. Сообщение ОИЯИ, P2-82-827, Дубна, 1982.

Литература

1. A.A. Logunov, A.N. Tavkhelidze, Nuovo Cimento, 1963, 29, p. 380.
2. S.P. Alliluev, S.S. Gershtein, A.A. Logunov. Phys. Lett., 1965, 18, p. 195.
3. В.Р. Гарсеванишвили, В.А. Матвеев, Л.А. Слеченко. ЭЧАЯ, 1970, т. I, с. 92.
4. R. Glauber. Lectures in Theoretical Physics. Interscience Publishers, N.Y., 1959, vol. I.
5. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, О.В. Селюгин, ЯФ, 1982, 35, с. 1430.
S.V. Goloskokov, S.P. Kuleshov, O.V. Seljugin, JINR, E2-82-109, Dubna, 1981.
6. С.В. Голоскоков, С.П. Кулешов, В.К. Митрюшкин, П.К. Рашидов. ЯФ, 1981, 33, с. 1349.
- A. Bialas et al. Acta Phys. Polon, 1977, 8, p. 955.
- S. Wakaizumu, M. Tanimoto. Progr. Theor. Phys., 1978, 60, p. 1040.
7. T.T. Chou, C.N. Yang. Nucl. Phys., 1976, B107, p. 1,
C. Bourrely, J. Soffer, T.T. Wu. Phys. Rev., 1979, D19, 3249.
L. Durand, F. Halzen. Nucl. Phys. 1976, B104, p. 317.
C. Bourrely, J. Soffer, D. Wray. Nucl. Phys., 1975, B89, p. 32.
E.E. Low, Phys. Rev., 1975, D12, p. 163.
J. Pumplin, G. L. Kane. Phys. Rev., 1975, D11, p. 1183.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 февраля 1983 года.