

На правах рукописи

Е Р Е М Я Н

Шаэн Суренович

ДИФРАКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И РЕАКЦИИ ПЕРЕЗАРЯДКИ
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ В ТЕОРИИ КОМПЛЕКСНЫХ МОМЕНТОВ

(01.04.02. - теоретическая и математическая физика)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Ереван - 1977

Работа выполнена в Ереванском физическом институте.

Наставник -
доктор физико-математических наук, профессор А.Ц. Амагун

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук, профессор С.Т. Матинян
кандидат физико-математических наук А.Б. Кайдалов

Ведущее предприятие:
Институт физики высоких энергий г. Серпухов.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1977 г.
на заседании специализированного Ученого совета
при Ереванском физическом институте (г. Ереван, 375036, ул. Мар-
гаряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕФМ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1977 г.

Ученый секретарь специализированного Совета
кандидат физико-математических наук

В. А. НАХБАЗЯН

В теории сильных взаимодействий при высоких энергиях наи-
более разработанной и часто используемой является модель, ос-
нованная на методе комплексных моментов. В рамках этого метода
можно показать, что асимптотическое поведение амплитуды S -ка-
нала при $s \rightarrow \infty$ и $t \leq 0$ связано с положением самых
правых особенностей парциальной амплитуды t -канала в комп-
лексной j -плоскости. В работах Т. Редже, В.Н. Грибова в
1960-62 гг. было показано, что этими особенностями являются
движущиеся полюса $j = \alpha_a(t)$. При целочисленных значениях j
эти полюса соответствуют резонансам t -канала. При значени-
ях t ниже порога t -канала на физическом листе $\alpha_a(t)$ ста-
новятся действительными величинами, и при $t \leq 0$ определяют
асимптотику упругого рассеяния S -канала.

Дальнейший теоретический анализ показал, что если в нереля-
тивистской квантовой механике единственными особенностями парци-
альной амплитуды t -канала являются движущиеся полюса, то в
квантовой теории поля, наряду с ними, обязательно возникают ге-
нерируемые этими полюсами движущиеся точки ветвления, обязанные
своим появлением многочастичным членам в условии унитарности
 t -канала. Используя реджеонную диаграммную технику, развитую
в работах В.Н. Грибова, А.А. Мигдала и К.А. Тер-Мартirosяна, мож-
но получить связь между амплитудами ветвлений и амплитудами по-
люсов Редже.

Накопление новых экспериментальных данных и повышение их
точности позволило показать, что вклады ветвлений, соответствующи-

щие теоретическим представлениям об их характере и свойствах необходимы для описания эксперимента.

Однако, появившиеся за последние годы новые, более точные экспериментальные результаты при высоких энергиях несколько выпадали из имеющейся реджевской схемы. Оказалось, например, что полные сечения растут гораздо быстрее, чем предсказывалось в этих работах; плохо описывались поляризации и дифференциальные сечения при больших $|t|$. Возникла необходимость пересмотра и уточнения результатов, полученных в работах с простым учетом ветвлений.

Настоящая диссертация посвящена этому вопросу. В ней показывается, что при некотором усложнении формы функций вычетов полюсов Редже и определенной модификации «квазиэйконоальной» модели, предложенной К.А.Тер-Мартirosяном, можно получить систему функций вычетов главных полюсов Редже, позволяющую описать с единой точки зрения все существующие на сегодняшний день экспериментальные данные по упругим процессам, реакциям перезарядки, дифракционной диссоциации и фоторождению при высоких энергиях.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

ПЕРВАЯ ГЛАВА посвящена определению «квазиэйконоальной» модели в теории комплексных моментов и носит, в основном, обзорный характер, за исключением §§ 3 и 4. В §3 исследуются коэффициенты ливневого усиления, введенные впервые А.Б.Кайдаловым для учета ливней в промежуточных состояниях двухреджеонных ветвлений. Показывается, что эти величины должны быть функциями от энергии и переданного импульса. В §4 выведены формулы модифицированной «квазиэйконоальной» модели с коэффициентами ливневого усиления, зависящими от энергии и переданного импульса.

Эти формулы были получены автором в работе [1].

Не существует никаких теоретических предпосылок, дающих возможность определить вид функций вычетов полюсов Редже. Конкретный вид функций вычетов может быть определен только из сравнения с экспериментальными данными. Вид вычетов P , P' и ρ полюсов точнее всего может быть определен из исследования πN -рассеяния, для которого существует богатый набор экспериментальных данных, позволяющий провести амплитудный анализ при энергиях 6; 10; 14; 16 и 40 Гэв.

ВТОРАЯ ГЛАВА посвящена амплитудному анализу πN -рассеяния. Она написана на основании результатов, полученных автором в работе [2]. Из существующих экспериментальных данных можно выделить амплитуды πN -рассеяния в интервале переданных импульсов от 0 до $-0,6$ (Гэв/с)². В §1 главы II показывается, что если аппроксимировать при помощи «квазиэйконоальной» модели вакуумные амплитуды, полученные из традиционного амплитудного анализа, то область определения амплитуд можно расширить до $|t| \approx 1$ (Гэв/с)², несмотря на то, что при этих t есть только данные по дифференциальным сечениям и поляризациям, но нет измерений параметров спиновой корреляции R и A .

В §2 предложена параметризация вакуумных амплитуд πN -рассеяния в «квазиэйконоальной» модели. Показано, что лучшее согласие с экспериментальными данными получается при параметризации вычета померона в виде

$$\beta^P(t) = a_P e^{R_0^2 t} + |t| b_P e^{R_1^2 t} + |t|^2 c_P e^{R_2^2 t}$$

Результаты амплитудного анализа при энергиях 6, 10, 14, 16 и 40 Гэв и при $0 \leq |t| \leq 1$ (Гэв/с)² приведены в виде графиков и таблиц.

В §3 подробно исследуется структура изовекторных амплитуд πN -рассеяния, вытекающая из амплитудного анализа. Показывается, что в обычной «квазизикональной» модели с коэффициентами ливневого усиления, не зависящими от s и t нельзя найти подходящую форму для функции вычета ρ -полуса в амплитуде F_1^1 , которая давала бы правильные результаты для поляризации упругого $\pi^\pm p$ -рассеяния при всех энергиях и при $|t| > 0,7$ (Гэв/с)².

В §4 исследуется поляризация реакции перезарядки $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$ и показывается, что аномальный вид амплитуды F_1^1 приводит к соответствующим аномалиям и для амплитуды F_0^1 .

§5 посвящен вопросу сохранения спиральности S -канала. Показывается, что, хотя при низких энергиях нарушение сохранения спиральности мало, и должно быть порядка $\pm 2\%$, с ростом энергии это нарушение может расти и приводить к исчезающей поляризации при высоких энергиях.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ производится параметризация вычетов амплитуд, полученных из амплитудного анализа πN -рассеяния. Далее находятся связи между амплитудами πN -, KN - и NN -рассеяния, позволяющие описывать эти процессы без введения дополнительных параметров. Эта глава целиком основана на результатах, полученных автором в работах [3-7].

§1 посвящен, в основном, обзору существующих теоретических работ, в которых проводится анализ рассматриваемых процессов. Показано, почему результаты этих работ не дают хорошего согласия с новыми экспериментальными данными. Далее производится параметризация вычетов вакуумных амплитуд, аналогичная проведенной в §2 главы II.

В §2 проведена параметризация изовекторных амплитуд. Пока-

зано, что лучшие результаты получаются при параметризации вычета изовекторной амплитуды с переворотом спина в виде функции, имеющей двойной нуль в точке $|t| \approx 0,7$ (Гэв/с)², с некоторой добавкой, вклад которой имитирует вклад ρ' -траектории. При этом необходимо учесть зависимость коэффициента ливневого усиления ρP -разреза от переданного импульса.

В §3 определяются параметры модели из сравнения с экспериментальными данными и приводится таблица параметров P -, P' - и ρ -особенностей, полученных автором в работе [4] из анализа πN -рассеяния.

§4 посвящен связям между амплитудами πN - и KN -взаимодействий, вытекающим из $SU(3)$ -симметрии и кварковой модели. Там же приводится параметризация вычетов A_2 - и ω -полусов, полученная автором в работе [5] из анализа процессов $\pi^- p \rightarrow \eta n$ и $K_L^0 p \rightarrow K_S^0 p$.

В §5 выводятся связи между амплитудами NN -рассеяния и πN - и KN -взаимодействий. Показано, как без введения дополнительных параметров можно описать все эти процессы, при помощи единой системы вычетов [6].

В §6 проводится сравнение предсказаний «квазизикональной» модели, полученных в работах [4-7] с данными опыта. Вначале рассматриваются полные сечения $\pi^\pm p$ -, $K^\pm p$ -, $K^\pm n$ - и

NN -взаимодействий. Показано, что в выбранной нами параметризации вычета P -полуса достигается достаточно быстрый рост полных сечений. Но для NN -взаимодействий этот рост оказывается недостаточно быстрым, поэтому возникает необходимость учета зависимости коэффициента ливневого усиления от энергии и переданного импульса. Там же рассматриваются разности полных сечений, зависящие только от вкладов вторичных Редже-особеннос-

тей. Полученное согласие с экспериментом оказывается хорошим.

Далее исследуются вещественные части амплитуд упругого рассеяния. Получено весьма удовлетворительное согласие с данными опытов. Рассматриваются наклоны дифракционных конусов πN -, KN - и NN -взаимодействий. Показывается, что в «квазиэikonальной» модели можно получить правильные наклоны для всех процессов и при всех существующих энергиях. Обсуждается зависимость наклона дифференциального сечения от t .

Обсуждаются дифференциальные сечения упругих процессов. Отмечается, что сложная форма вычетов полюсов Редже позволяет получить правильные кривые для дифференциальных сечений до $|t| \leq 1,5$ (Гэв/с)². Затем рассматриваются дифференциальные сечения реакций перезарядки $\pi^- p \rightarrow \pi^0 n$, $\pi^- p \rightarrow \eta n$, $K^- p \rightarrow \bar{K}^0 n$, $K^+ n \rightarrow K^0 p$ и реакции регенерации $K_L^0 p \rightarrow K_S^0 p$. Согласие с экспериментом хорошее до $|t| \leq 2$ (Гэв/с)².

Далее проводится исследование спиновых эффектов в πN - и KN -взаимодействиях при высоких энергиях. Подробно исследуются поляризации $\pi^\pm p$ - и $K^\pm p$ -рассеяния. Показывается, что поляризация с ростом энергии убывает гораздо медленнее, чем ожидалось из полюсной модели Редже. Приводятся предсказания для поляризаций и параметров спиновой корреляции при высоких энергиях.

Таким образом, в §6 показано, что «квазиэikonальная» модель, определенная в третьей главе настоящей диссертации и в работах [3-7], способна описать единым образом всю совокупность экспериментальных данных по πN -, KN - и NN -взаимодействиям. Окончательно мы имеем в факторизованном виде некоторый набор функций вычетов главных полюсов Редже, содержащий всего 34 свободных параметра, при помощи которых можно описы-

вать и другие процессы, например, с обменом гиперзарядом или фоторождения [8-10], если использовать $SU(3)$ -симметрию или модель кварков.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ исследуется дифракционное рассеяние $pp \rightarrow pX$ и показывается, что правильное описание сечения этого процесса в области малых масс M_X приводит к зависимости коэффициентов ливневого усиления вакуумного полюса от энергии и переданного импульса. Эта глава, в основном, представляет собой изложение результатов, полученных автором в работе [1], но в ней проводится более точный учет пучков в промежуточных состояниях в амплитуде процессов дифракционной диссоциации, чем в этой работе.

В §1 обосновывается необходимость пересчета коэффициентов ливневого усиления из-за появления большого количества новых экспериментальных данных по процессам дифракционной диссоциации.

В §2 вводятся вакуумные амплитуды процессов дифракционной диссоциации. Показывается, что нельзя использовать модели «квазиэikonального» типа для описания этих процессов. Вместо этого приходится прямо считать сумму из шести ветвлений, со всеми возможными промежуточными состояниями. Учет ветвлений более высокого порядка является превышением точности экспериментальных данных.

§3 посвящен феноменологической параметризации дифференциального сечения процесса $pp \rightarrow pX$. Определяется процедура вычисления параметров модели из сравнения с экспериментальными данными по процессам $pp \rightarrow pp$ и $pp \rightarrow pX$.

В §4 проводится обсуждение полученных результатов. Показывается, что при учете ветвлений полное сечение рассеяния померона на протоне становится в несколько раз выше сечения, вычис-

ленного в полусной модели. Проводится сравнение полученных результатов при больших M_x с обычной трехмерной параметризацией. Из-за учета разрезов трехмерная константа G_{pppp} становится равной $7,2 \pm 0,2$ мбн/Гэв² вместо 3,24 в полусной модели. Из приведенных графиков видно, что полученная параметризация хорошо описывает экспериментальные данные по дифференциальным сечениям и наклонам процесса $pp \rightarrow pX$.

В §5 показывается как зависит от энергии и переданного импульса коэффициент ливневого усиления $C_0^P(s, t)$ и к каким изменениям это приводит в процессах упругого NN-рассеяния. Оказывается, что при фиксированном значении переданного импульса $C_0^P(s, t)$ с ростом энергии вначале быстро растет, достигает максимума при $E \approx 50$ Гэв, потом начинает медленно падать. Этот эффект объясняется тем, что из-за разных наклонов дифференциальных сечений, упругое сечение и сечение дифракционной диссоциации имеют существенно разную зависимость от s при средних энергиях от 5 до 100 Гэв. С ростом энергии эта разница сглаживается и $C_0^P(s, t)$ стремится сверху к константе порядка 1,5. Если зафиксировать энергию и менять t , то коэффициент $C_0^P(s, t)$ начинает быстро падать с ростом t . Такая зависимость $C_0^P(s, t)$ от энергии сильно отражается на полном сечении. Она приводит к тому, что двухмерное ветвление, имеющее отрицательный знак, при разных энергиях усиливается по-разному: усиление достигает максимума в области минимума полного сечения и с ростом энергии начинает падать. Это падение, вместе с логарифмическим падением вклада ветвления, приводит к резкому росту полных сечений в хорошем согласии с существующими экспериментальными данными. Полные сечения быстро растут до $E \approx 5000$ Гэв, после чего скорость роста замедляется, и они начинают стремиться

к своему асимптотическому значению логарифмическим образом.

Полученный в главе III набор функций вычетов главных полюсов Редже используется в ПЯТОЙ ГЛАВЕ для описания процессов фоторождения векторных мезонов.

В §1 предлагается модель, позволяющая описывать процессы фоторождения вместе с процессами сильного взаимодействия при помощи единой системы вычетов и без введения большого числа новых параметров. Эта модель была предложена в работе автора [10].

В §2 определяется кинематика процесса $\gamma N \rightarrow VN$. Предлагается способ сокращения числа независимых спиральных амплитуд, при использовании пороговых соотношений [8,9]. Показывается, что при помощи этих соотношений 12 независимых амплитуд выражаются через четыре, что очень сильно облегчает задачу.

В §3 исследуются связи между процессами фоторождения и πN - и KN -рассеянием. Показывается, что если использовать кварковую модель и модель векторной доминантности, амплитуды фоторождения просто выражаются через амплитуды сильных взаимодействий, то есть фоторождение векторных мезонов можно описать без введения новых параметров. Из приведенных в этом параграфе графиков видно, что при этом получается очень хорошее описание не только дифференциальных сечений этих процессов, но и элементов матрицы плотности.

В качестве примера применения схемы расчета, предложенной в §1 этой главы, в §4 рассматриваются процессы фоторождения заряженных векторных мезонов, которые также описываются без введения новых параметров. Полученные результаты хорошо согласуются с данными опыта.

Основным результатом диссертации является полученная в работах [4-7] система функций вычетов главных полюсов Редже,

которая, вместе с зависящими от s и t коэффициентами ливневого усиления, позволяет без введения новых параметров описывать самые различные процессы — упругие πN [4], KN [5] и NN [6] взаимодействия, реакции перезарядки, дифракционную диссоциацию [1], фоторождение векторных мезонов [8-10]. Полученная в главе IV зависимость коэффициентов ливневого усиления от s и t , позволяет резко расширить область применения «квазиэikonального» приближения в теории комплексных моментов.

Более детально результаты, полученные в диссертации, можно сформулировать следующим образом:

1. Получены формулы «квазиэikonального» приближения для амплитуды рассеяния с коэффициентами ливневого усиления, зависящими от энергии и переданного импульса [1].
2. Проведен амплитудный анализ πN -рассеяния при энергиях 6, 10, 14, 16 и 40 Гэв и в интервале переданных импульсов от 0 до -1 (Гэв/с)² [2].
3. Показано, что правильные изовекторные амплитуды для πN -рассеяния могут быть получены только при учете зависимости коэффициентов ливневого усиления ρP -ветвлений от энергии и переданного импульса [2-4].
4. Получена система функций вычетов главных полюсов Редже, способная описать единым образом всю совокупность экспериментальных данных по πN -, KN - и NN -взаимодействиям [4-7]. При этом получают хорошие описания всех величин, измеряемых на опыте (полных и дифференциальных сечений, поляризации, параметров спиновой корреляции и др.).

5. Проведено описание процессов дифракционной диссоциации с учетом вакуумных ветвлений [1]. Показано, что трехполюсная вершина, полученная с учетом ветвлений, в три раза больше получаемой в полюсной модели. Параметризация с ветвлениями хорошо описывает существующие экспериментальные данные по процессу $pp \rightarrow pX$.

6. Из результатов, полученных при описании процесса $pp \rightarrow pX$, была получена зависимость коэффициентов ливневого усиления вакуумного полюса от энергии и переданного импульса [1]. Полученные результаты используются для описания роста полных сечений NN -взаимодействий в хорошем согласии с экспериментальными данными.

7. Предложена теоретическая схема расчета процессов фоторождения [10]. В качестве примера рассмотрено фоторождение нейтральных и заряженных векторных мезонов [8-10]. Показано, что система функций вычетов, полученная из исследования πN -, KN - и NN -взаимодействий, при использовании $SU(3)$ -симметрии, кварковой модели и модели векторной доминантности, дает возможность описывать процессы фоторождения без введения дополнительных параметров.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах [1-10] и докладывалось на Сессии Отделения ядерной физики АН СССР, на семинарах в ИГЭФ, ЛВЭ ОИЯИ и ИФВЭ. Эти работы были представлены на XV-XVII Международные конференции по физике высоких энергий.

Работы, вошедшие в диссертацию

1. Ш.С.Еремян. Научное сообщение ВФИ-192(38)-76, 1976.
2. Ш.С.Еремян. ЯФ, 20, 1051, 1974.
3. Г.Г.Аракелян, А.П.Гаряка, А.А.Григорян, Ш.С.Еремян, В.И. Лисян. Сообщение на XVI Международной конференции по физике высоких энергий, Чикаго, Батавия, 1972 г., раб. № 899.
4. Ш.С.Еремян. ЯФ, 21, 373, 1975.
5. Ш.С.Еремян. ЯФ, 23, 1298, 1976.
6. Ш.С.Еремян. ЯФ, 24, 201, 1976.
7. Ш.С.Еремян. Сб. «Вопросы физики элементарных частиц», вып. VI, Ереван, 1976 г., том II, стр. 5.
8. Sh.S.Eremian, A.Ts.Amatuni, G.G.Arakelian, A.P.Garyaka, A.M.Zverev. Phys. Rev., D5, 2282, 1972.
9. Р.П.Григорян, А.Ц.Аматуни, Г.Г.Аракелян, Ш.С.Еремян. Изв. АН Арм.ССР, Физика, 7, 235, 1972.
10. Г.Г.Аракелян, Ш.С.Еремян. ЯФ, 23, 154, 1976.

Тех. редактор А.С.Абрамян

Заказ 949

ВФ-03242

Тираж 160

Издано Отделом научно-технической информации

Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маркаряна 2