

СЕДРАКЯН АРА ГРИГОРЬЕВИЧ

МНОГОЧАСТИЧНЫЕ ПОЛОСА РЕДЖЕ

(01.04.02- теоретическая и математическая физика)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание
ученой степени кандидата физико-математических
наук

Ереван - 1977

Тех. редактор А.С.Абрамян

Заказ 014

ВФ 03404

Тираж 150

Подписано к печати 9/ХП-77 г. Формат издания 30х42

Издано отделом научно-технической информации

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

Работа выполнена в Ереванском физическом институте.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук,
профессор С.Г.МАТИНЯН.

Официальные оппоненты – доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник
(Институт физики АН Груз.ССР)
О.В.КАНЧЕЛИ,
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник (ЛИЯФ)
Е.И.ЛЕВИН.

Ведущее предприятие – Институт теоретической и экспериментальной физики (г.Москва).

Защита состоится "14" марта 1978 г. в 14⁰⁰
часов на заседании Специализированного совета Д 034.01.03 по
присуждению ученой степени доктора физико-математических наук
при Ереванском физическом институте (375036, г.Ереван, ул.Мар-
каряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕФИ.

Автореферат разослан "17" I 1978 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета,
кандидат физ.-мат. наук,
старший науч. сотрудник

(В.А.ШАХБАЗЯН)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время наиболее развитой теоретической схемой, претендующей на детальное описание экспериментальных данных в области сильных взаимодействий частиц при высоких энергиях (бинарное взаимодействие адронов, множественное рождение частиц и т.д.) является теория комплексных моментов.

Первоначально созданная в 1961-62 годах в виде теории полюсов Редже (Т.Редже, В.Н.Грибов), она усиленно развивалась в последнем десятилетии. Была понята роль точек ветвления (С.Мандельштам, В.Н.Грибов, И.Я.Померанчук, К.А.Тер-Мартirosян) и развита техника реджеонных диаграмм Грибова учета точек ветвления.

В основе теории комплексных моментов лежит представление о существовании вакуумного полюса Померанчука с интерцептом траектории $\alpha(0) = 1$. Вместе с привлечением других полюсов и точек ветвлений теория хорошо описывает почти все экспериментальные данные по бинарным процессам, рост полных сечений, поляризационные эффекты и инклюзивные процессы, которые удалось исследовать с помощью реджеонной теории после работ Канчели и Миллера (1970-1972 г.).

Теория имеет хороший экспериментальный фундамент. В то же время (1974 г.) были поняты (Г.Абарбанел, Д.Бронзан, А.М.Поляков, А.А.Мигдал, К.А.Тер-Мартirosян) узловые вопросы теории померона, завершающей самосогласованную структуру всей теории.

В последнее время усиленно развивается теория поля реджеонов, в которой самый правый полюс имеет интерсепт, больший единицы (Д.Карди, К.А.Тер-Мартirosян), но тем не менее не нарушается граница Фруассара из-за экранирующего характера реджеонных ветвлений. Здесь легко достигается предел Фруассара для зависимости полных сечений от энергии частиц.

Однако теория поля реджеонов носит феноменологический характер и нуждается в теоретико-полевого обосновании, что само по себе имеет большое значение.

Этим фактом обусловлено большое количество работ, рассматривающих проблему реджезации частиц во всех квантовых теориях поля и теоретико-полевого обоснования померанчуковской траектории.

Этой проблемой определяется и актуальность данной диссертации.

Цель работы. Целью диссертации является исследование непланарных диаграмм Фейнмана в квантовой теории поля с многочастичными в t -канале состояниями, характера особенностей, соответствующих этим состояниям, их роли в амплитуде упругого рассеяния и свойств их траекторий.

Научная новизна. В диссертации впервые найдены и сформулированы правила вычисления асимптотик амплитуд для довольно большого класса диаграмм Фейнмана в $g\varphi^3$ -теории.

В работе установлен факт существования у амплитуды рассеяния при высоких энергиях наряду с (многочастичными) ветвлениями многочастичных (с любым количеством частиц в t -канале) полюсов Редже, интерсепт которых лежит правее чем интерсепт со-

ответствующих ветвлений (с тем же количеством частиц в t -канале).

Впервые найдена зависимость интерсепта многочастичного полюса от числа частиц N в t -канале. Показано, что вначале ($Ng^2(0) \leq e/\Delta$) интерсепт многочастичных полюсов Редже растет квадратично с числом частиц в t -канале, а затем (при $Ng^2(0) \geq e/\Delta$) зависимость меняется и переходит в $N \ln N$, исследованы свойства найденных полюсов, их роль в амплитуде упругого рассеяния.

В работе впервые найдены траектории многочастичных полюсов, которые оказались прямолинейными на большом интервале переданных импульсов в соответствии с идеей Мандельштама о роли многочастичных состояний в t -канале в образовании прямолинейных реджевских траекторий.

Исследована также квантовомеханическая картина многочастичного полюса Редже.

Апробация работы. Основные результаты диссертации были доложены на пленарном заседании сессии Отделения ядерной физики АН СССР (октябрь 1976 г.), на общем собрании АН Армянской ССР (март 1976 г.), на ХУШ Международной конференции по физике высоких энергий (Тбилиси, 1976 г.), на конференциях молодых ученых ЛИЯФ АН СССР и ВФИ (1977 г.).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано пять статей [1-5].

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 108 страниц машинописного текста, 38 рисунков и библиографический список литературы из 102 названий.

Введение посвящено краткому обзору работ, исследующих проблему реджезации частиц в разных квантовых теориях поля, а также приведено краткое содержание работы.

Первая глава, "Техника вычисления асимптотик амплитуд упругого рассеяния в $g\varphi^3$ -теории", посвящена технике вычисления асимптотик амплитуд методом параметров Судакова. Здесь определяются правила нахождения асимптотик амплитуд в главном по логарифмам S/m^2 приближении для большого класса диаграмм в $g\varphi^3$ -теории. В ней подведена база расчетов амплитуд диаграмм, которые проведены в последующих главах и в оригинальной части первой главы.

В §1 вводятся переменные Судакова.

В §2 вычисляются асимптотики амплитуд диаграмм с тремя частицами в t -канале. С целью наглядно показать наиболее выгодное распределение импульсов по пропагаторам диаграммы с точки зрения получения максимальной степени $\ln S/m^2$ параграф начинается с рассмотрения асимптотик более простых - мандельштамовских и AFS (Амати, Фубини, Стангеллини) диаграмм. Здесь получаются известные результаты, а именно AFS -диаграммы из-за отсутствия третьей спектральной функции Мандельстама оказываются подавленными (пропорциональны $g^4 S^{-2} \ln S/m^2$) по сравнению с мандельштамовскими диаграммами, которые после суммирования по перекладинам имеют

асимптотику, соответствующую ветвлению в комплексной плоскости моментов.

Однако совершенно очевидно, что для нахождения правильной асимптотики амплитуды диаграмм с трехчастичными t -канальными состояниями необходимо рассматривать диаграммы, в которых все три t -канальные частицы соединены перекладинами и образуют одно связанное состояние. В случае ветвлений в t -канале происходит обмен несколькими полюсами-реджеонами, которые или вообще не взаимодействуют друг с другом или взаимодействуют точечным образом.

На примерах исследования диаграмм рис. I легко усматриваются следующие правила нахождения асимптотик амплитуд довольно

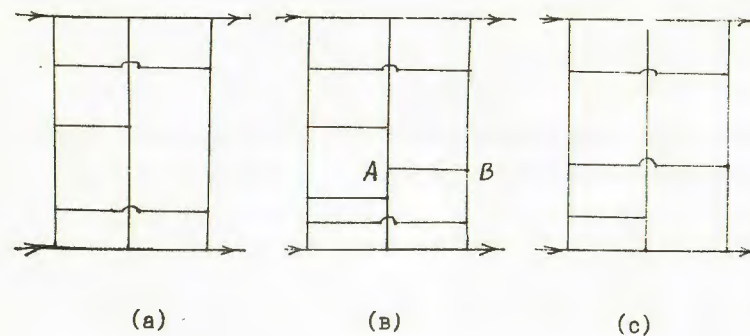


Рис. I.

большого класса диаграмм упругого рассеяния с тремя частицами в t -канале, в любом порядке теории возмущений.

I. Три t -канальные частицы подразделяются на две группы: одна испускающая, две поглощающие или две испускающие, одна поглощающая. Тогда любое соединение перекладиной частиц из этих

разных групп в асимптотике амплитуды приводит к множителю $g^2 \ln^2 S/m^2$, а соединение между частицами одной группы (только испускающие или только поглощающие) приводит к множителю g^2 *). Например, каждой перекладине диаграммы рис. 1(a) в асимптотике амплитуды соответствует $g^2 \ln S/m^2$, а соединение AB на рис. 1(b) приводит всего лишь к множителю g^2 .

2. Чтобы диаграмма имела максимальную степень $\ln^2 S/m^2$, необходимо, чтобы самая верхняя и самая нижняя перекладины соединяли самую левую t -канальную частицу с самой правой. Если самая верхняя или нижняя перекладина не соединяет крайние t -канальные частицы (рис. 1(c)), то такой перекладине в асимптотике амплитуды будет соответствовать лишь g^2 .

3. Диаграммы, содержащие вершины типа



как, например, в диаграмме рис. 2, можно включить в рассмотренные диаграммы с перенормированной вершиной

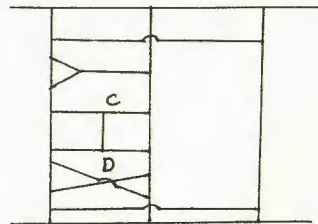


Рис. 2.

* Это утверждение не касается самой верхней и самой нижней перекладины.

Соединения типа CD на рис. 2 приво- асимпт к малости $g^2 \ln^2 S/m^2$. Если в диаграммах произ- эти перекрещивание существенных горизонтальных перекладин (т. е. перекладин, которые дают $g^2 \ln^2 S/m^2$), то это приведет к потере логарифмов в асимптотике амплитуд.

Все сказанное выше относится также к диаграммам, в которых проведено перекрещивание t -канальных частиц.

4. Асимптотики амплитуд диаграмм с тремя частицами в t -канале содержат также множитель S^{-2} .

Для амплитуды диаграммы рис. 1(a), например, получается следующая асимптотика

$$M = -ig^{12} S^{-2} \frac{\ln^4 S/m^2}{4!} \mathcal{K}^{(12)}(\varphi) \quad (1)$$

где $\mathcal{K}^{(12)}(\varphi)$ - "поперечный" интеграл, соответствующий диаграмме в двумерном евклидовом пространстве и получающийся стягиванием горизонтальных перекладин диаграммы рис. 1(a) в точки.

В общем случае с тремя частицами в t -канале легко получить следующую асимптотику

$$M = -ig^{2N+6} \frac{S^{-2}}{(N+1)!} \ln^{N+1} \frac{S}{m^2} \mathcal{K}^{(2N+6)}(\varphi) \quad (2)$$

где N - количество перекладин, проведенных указанным выше образом, а $\mathcal{K}^{(2N+6)}(\varphi)$ - "поперечный" интеграл, соответствующий диаграмме, получающейся стягиванием горизонтальных перекладин в точки (рис. 3).

В §3 рассматриваются диаграммы с четырьмя частицами в

t -канале и выписываются правила нахождения асимптотик амплитуд. Эти правила аналогичны правилам трехчастичного в t -канале случая, однако здесь асимптотика содержит множитель S^{-3} вместо S^{-2} .

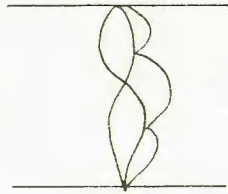


Рис. 3.

Вторая глава - "Многочастичные полюса Редже в теории $g\psi^3$ "

- посвящена суммированию по перекладинам асимптотик амплитуд диаграмм с фиксированным произвольным количеством частиц $(n_1 + n_2)$ в t -канале, при этом "поперечные" интегралы, возникающие при вычислении асимптотики по S , оцениваются снизу. Хотя строго не доказывается, что этой сумме соответствует Редже-полос (как в случае простой лесенки), однако приводятся вполне убедительные аргументы в пользу этого факта. К тому же, в случае трехчастичных и четырехчастичных связанных состояний на основе анализа некоторого интегрального уравнения Мак Кой, Ву и Драммонд и Холидей строго доказали, что сумме асимптотик амплитуд действительно соответствует полюс.

Глава состоит из трех параграфов.

В §I проводится суммирование по перекладинам асимптотик амплитуд диаграмм с тремя и четырьмя частицами в t -канале

в главном по логарифмам S приближении *) .

Так как в формулах (1) и (2) "поперечные" интегралы $\mathcal{K}^{(2N+6)}(\varphi)$ не имеют степенного вида (как в случае простой лесенки) точно суммировать по N формулу (2) невозможно. Поэтому в диссертации интегралы $\mathcal{K}^{(2N+6)}(\varphi)$ оцениваются снизу. Для этого интеграл $\mathcal{K}^{(2N+6)}(\varphi)$, соответствующий диаграмме рис.3, записывается в координатном пространстве. При интегрировании по координатам X_i вершины ограничиваемся областью интегрирования $|X_i| \leq r/m$, где r - произвольное число, а затем пропагаторы частиц в двумерном евклидовом пространстве $K_0(m|x_i-x_j|)$ заменяем его наименьшим значением $K_0(2r)$. Для трехчастичного случая легко получить

$$\mathcal{K}^{(2N+6)}(0) > \left(\frac{2r}{\pi}\right)^{N+2} \left(\frac{\pi r^2}{m^2}\right)^{N+1} [K_0(2r)]^{2N+3} \quad (3)$$

Поставив нижнюю границу (3) для $\mathcal{K}^{(2N+6)}(0)$ в (2), учитывая всевозможные перестановки перекладин и просуммировав по перекладинам от 0 до ∞ , для асимптотики амплитуды диаграмм упругого рассеяния с тремя частицами в t -канале получаем

$$-i \frac{g^4}{m^4} K_0(2r) \frac{1}{8\pi^2} \left(\frac{S}{m^2}\right)^{-2} + \frac{2g^2}{16\pi^2} \frac{r^2}{m^2} K_0^2(2r) \quad (4)$$

*) Под главным логарифмическим приближением мы подразумеваем приближение, соответствующее тому, что в данном порядке теории возмущений и при фиксированном количестве частиц в t -канале удерживаются максимальные степени логарифма S/m^2 .

Учет перекрещиваний t -канальных частиц из разных групп (испускающих и поглощающих) приводит к сигнатурному множителю:

$$\left[1 + \exp \left\{ i\pi \left(-1 + \frac{g^2}{16\pi^2 m^2} t^2 K_0^2(2\sigma) \right) \right\} \right]^2 \quad (5)$$

Аналогично, для асимптотики амплитуды диаграмм упругого рассеяния с четырьмя частицами в t -канале получается выражение

$$-i g^4 \frac{1}{2!2!} \frac{m^2}{4\pi^2 t^2} \left(\frac{S}{m^2} \right)^{-3} + \frac{4g^2}{16\pi^2 m^2} \frac{t^2}{m^2} K_0^2(2\sigma) \times \left\{ 1 + \exp \left[i\pi \left(-1 + \frac{g^2 t^2}{16\pi^2 m^2} K_0^2(2\sigma) \right) \right] \right\}^4 \quad (6)$$

§2 посвящен общему случаю диаграмм с $n_1 + n_2$ частицами в t -канале. Здесь приведены правила нахождения асимптотик амплитуд довольно большого класса таких диаграмм. Эти правила такие же, как и в случае трех- и четырехчастичных t -канальных состояний и с их помощью легко выделить диаграммы, содержащие максимальную степень $\ln S/m^2$ в данном порядке теории возмущений. Именно, n - t -канальные частицы разделяются на n_1 испускающих и n_2 поглощающих произвольное количество (см., однако, ниже, гл. III) частиц. Тогда, если соединить перекладинами частицы из группы n_1 с частицами из n_2 , то каждое такое соединение приводит к множителю $g^2 \ln S/m^2$, а соединения между линиями внутри каждой из групп, а также соединения других типов несущественны в главной по логарифмам S/m^2 асимптотике. Просуммировав по количеству перекладин асимптотик амплитуд таких диаграмм, получаем

$$-i \left(\frac{g^2}{m^2} \right)^{m_2} K_0^{m_2 - m_1} (2\sigma) \left(\frac{2}{t^2} \right)^{m_1 - 1} \frac{1}{(8\pi^2)^{m_2 - 1}} \left(\frac{S}{m^2} \right)^{\alpha(n_1, n_2)(\sigma)} \quad (7)$$

где

$$\alpha^{(n_1, n_2)}(\sigma) > -n_1 - n_2 + 1 + n_1 n_2 \frac{g^2}{16\pi^2 m^2} \frac{t^2}{m^2} K_0^2(2\sigma) \quad (8)$$

$$m_{1(2)} \equiv \max(\min) \{ n_1; n_2 \}$$

при этом "поперечные" интегралы $\mathcal{K}^{(2n_1 + 2n_2 + 2n_2)}(\sigma)$ оценивались снизу аналогично трехчастичному в t -канале случаю.

В §3 рассмотрена квантовомеханическая картина многочастичных в t -канале связанных состояний, позволяющая понять возникновение квадратичной зависимости интерсепта от числа частиц.

Здесь рассматривается задача о зависимости от числа частиц максимально возможного момента импульса n -частиц, взаимодействующих попарно через потенциал Юкава. Оказывается, что, действительно, максимальный момент импульса квадратично зависит от числа частиц, как в (8). Однако потенциал Юкава с притяжением имеет неустойчивый характер по отношению к рождению частиц. Теорию можно сделать устойчивой, вводя отталкивание между частицами на малых расстояниях. При этом можно остановить бесконечный рост момента импульса (интерсепта) и при разумном подборе входящих в рассмотрение параметров можно, в принципе, получить реджеон с интерсептом, близким к единице.

Найденная квадратичная зависимость интерсепта от числа частиц является следствием факта, что $n = n_1 + n_2$ -частичное t -канальное связанное состояние образуется n_1, n_2 эффективными лестницами, для образования которых в S -канале необходимо иметь $n_1, n_2 g^2(\sigma) \ln S/m^2$ частиц (средняя множественность).

Однако произвольно большое число частиц в S -канале невозможно испустить (поглотить) n_1 (n_2) частицами t -канала, не теряя при этом выгодных с точки зрения асимптотики лестничных конфигураций, ибо между близкими по быстроте перекладами, испущенными (поглощенными) одним ребром, существует, как показали Е.М. Левин и М.Г. Рыскин, эффективное отталкивание, связанное с уменьшением сечения взаимодействия пар частиц при стремлении к нулю разности быстрот Δy . Иными словами, в лестничных конфигурациях существует некоторое минимальное значение быстроты Δ , меньше которого невыгодно иметь разность быстрот между соседними перекладами.

Исследование влияния этого эффекта на зависимость интерсепта от числа частиц в t -канале и составляет содержание третьей главы.

Рассмотрим диаграмму с $2N$ -частицами в t -канале, приводящую к N -реджеонному ветвлению.

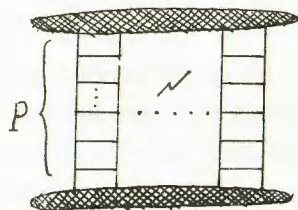


Рис. 4.

Асимптотика этой диаграммы для рассеяния вперед имеет вид (всюду ниже мы интересуемся только S -зависимостью, опуская несущественные множители):

$$\left(\frac{g^2(0) \ln^P(S/m^2)}{P!} \right)^N \left(\frac{S}{m^2} \right)^{-2N+1} \quad (9)$$

(здесь $g^2(0)$ пропорционально квадрату g - константы связи).

Учет "отталкивания" эффективно сводится к тому, что при суммировании по P

$$P \leq P_0 = \frac{\ln(S/m^2)}{\Delta} \quad (10)$$

и можно делать перестановки перекладов только на одном уровне по быстроте, следя за тем, чтобы из каждого ребра выходило (или входило в каждое ребро) не больше, чем P_0 перекладов. Нетрудно заметить, что таких перестановок $N!$. Делая перестановки на всех уровнях по быстроте, для асимптотики амплитуды получаем

$$\left(\frac{S}{m^2} \right)^{-2N+1} \left(\frac{g^2(0) N \ln(S/m^2)}{P} \right)^{NP} \quad (11)$$

(здесь мы воспользовались формулой Стирлинга), из которой следует, что она имеет максимум при

$$P = P_{\max} \equiv \frac{N g^2(0)}{e} \ln(S/m^2)$$

Если теперь $P_{\max} < P_0 = \frac{\ln(S/m^2)}{\Delta}$ (т.е. $N g^2(0) < e/\Delta$), то "отталкивание" несущественно и получается результат главы II.

Если же $P_{\max} > P_0$ (т.е. $N g^2(0) > e/\Delta$), то в игру существенно вступает "отталкивание" и для асимптотики амплитуды вперед получим:

$$\left(\frac{S_1}{m^2}\right)^{-2\nu+1} + \frac{\nu}{\Delta} \ln g^2 \nu \Delta \quad (12)$$

Мы видим, что при больших N ($N \gg 5/g^2(0)$) квадратичная зависимость интерсепта заменяется зависимостью $\sim N \ln N$.

Четвертая глава посвящена исследованию свойств траекторий, исследуемых многочастичных полюсов Редже. Показано, что найденные нами многочастичные полюса реализуют идею Мандельштама о роли многочастичных t -канальных состояний в обеспечении прямолинейности (в большом интервале переданных импульсов $|\vec{q}^*|^2 \leq 4N^2 m^2$) траекторий полюсов Редже.

В §1 исследованы траектории многочастичных полюсов Редже с числом частиц $2N$ при $N g^2(0) < e/\Delta$. Здесь получается прямолинейность траектории в области $|\vec{q}^*|^2 < 4N^2 m^2$ с наклоном

$$\alpha^{(n_1, n_2)} = \frac{4n_1 n_2}{(n_1 + n_2)^2} \alpha^{(1,1)} \quad (13)$$

где $\alpha^{(1,1)}$ - наклон траектории полюса Редже для простой лесенки.

При больших $|\vec{q}^*|^2$ реальная часть траектории ведет себя так:

$$\text{Re} \alpha^{(n_1, n_2)} \approx -n + 1 + n_1 n_2 n^2 \frac{g^2}{16\pi^2} \cdot \frac{1}{\vec{q}^*{}^2} \ln^2 \left(\frac{2|\vec{q}^*|}{nm} \right) \quad (14)$$

$$(n = n_1 + n_2)$$

В §2 рассмотрен случай $N g^2(0) > e/\Delta$. В этом случае траектория тоже прямолинейна в области $|\vec{q}^*|^2 < 4N^2 m^2$ (\vec{q}^* - переданный импульс) и имеет наклон

$$\alpha^{(n_1, n_2)} = \frac{\beta}{2N \Delta m^2} \quad (15)$$

(β - некоторое число), напоминая ветвления.

В заключении приведены основные результаты диссертации, которые представляются на защиту:

1. Найденны и сформулированы правила вычисления асимптотик амплитуд для довольно большого класса диаграмм Фейнмана.

2. Показано, что асимптотика амплитуды упругого рассеяния определяется обобщенными лестничными конфигурациями с определенной упорядоченностью по продольным импульсам, где каждая из лестниц взаимодействует с любой другой лестницей с помощью максимального числа обменов. Соответствующая особенность (многочастичный реджевский полюс) лежит правее соответствующих мандельштамовских ветвлений (с тем же числом частиц в t -канале).

3. Развита квантовомеханическая картина многочастичного реджеона. Эта картина поясняет возможность существования связанных состояний, угловой момент которых квадратично зависит от числа составляющих частиц.

4. При не очень больших N ($N g^2(0) < e/\Delta$) интерсепт найденных многочастичных полюсов зависит квадратично от числа частиц. При $N g^2(0) > e/\Delta$ учет кинематических ограничений, приводящих к "отталкиванию" между близкими по скорости перекладинами, меняет квадратичную зависимость интерсепта от числа частиц N в t -канале на зависимость $\sim N \ln N$. Рассмотрена диффузионная картина многочастичного реджеона в поперечной плоскости прищельного расстояния. Обсуждается ограничение, на-

лагаемое условием унитарности на рост интерсепта от числа частиц в t -канале.

5. Найдены траектории многочастичных полюсов Редже. Показано, что в большой области по q^2 траектории прямолинейны, так что многочастичные полюса Редже реализуют идею Мандельштама о роли многочастичных обменов в образовании прямолинейных реджевских траекторий. Найдена зависимость наклона траекторий полюса от числа частиц в t -канале.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. С.Г.Матинян, А.Г.Седракия - Письма в ЖЭТФ, 23, 588, 1976.
2. С.Г.Матинян, А.Г.Седракия - Письма в ЖЭТФ, 24, 240, 1976.
3. С.Г.Матинян, А.Г.Седракия - ЯФ, 24, 844, 1976.
4. С.Г.Матинян, А.Г.Седракия - ЯФ, 26, 897, 1977.
5. S.G. Matinyan, M.G. Riskin, A.G. Sedrakyan -
- preprint ВФИ-249(42)-77, 1977.