

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

T-612

2-83-395

ТОРОСЯН
Грач Тигранович

МОДЕЛЬ ДВУХ МЕХАНИЗМОВ
МНОЖЕСТВЕННОГО РОЖДЕНИЯ АДРОНОВ
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

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.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

А.Н.Сисакаян.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

И.В.Андреев.

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 исследований,
г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного
института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

В.И.Журавлев

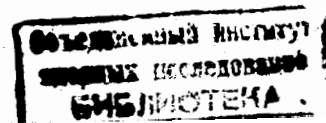
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Множественные процессы при высоких энергиях - одна из тех областей физики элементарных частиц, которая наиболее интенсивно изучается в настоящее время. Столь большой интерес к этой области физики во многом определился вводом в строй в последние несколько десятилетий ускорителей элементарных частиц на высокие энергии (ИФВЭ, ОИЯИ, ЦЕРН, ФНАЛ и др.). В настоящее время накоплен огромный экспериментальный материал по множественным процессам, которые составляют более 80% событий при высоких энергиях. Как известно, строгий анализ этих процессов с малыми передачами импульса пока невозможно проводить в рамках квантовой хромодинамики из-за нерешенной проблемы сильной связи. В этой ситуации теоретическое осмысление и феноменологическое описание имеющихся экспериментальных данных является очень важным и необходимым этапом на пути построения теории сильных взаимодействий.

Последовательный подход к анализу множественных процессов в рамках квантовой теории поля восходит к работам Н.Н.Боголюбова^{/1/}, где развивается представление об амплитуде рассеяния как о единой аналитической функции своих переменных. Решающим толчком для исследований явился разработанный в работах А.А.Логанова с сотрудниками инклюзивный подход в теории множественного рождения^{/2/}, представляющий собой альтернативу практически невозможному при рассматриваемых энергиях эксклюзивному методу. Именно на основе этого подхода было обнаружено новое явление в физике элементарных частиц - масштабная инвариантность сечений при высоких энергиях^{/3/}. Очень плодотворной оказалась идея о необходимости выделения и отдельного исследования различных областей фазового пространства, соответствующих различным по природе группам вторичных частиц^{/4/}.

Однако наряду с выявлением строгих закономерностей отсутствие теории сильных взаимодействий создает необходимость построения феноменологических схем, опирающихся на представление о картине взаимодействия. Такие феноменологические модели дают возможность описывать и систематизировать большое количество экспериментальных данных, сопоставлять характеристики процессов с различными начальными частицами, прощупать составную структуру адронов. При этом эксперименты при высоких энергиях позволяют выбирать наиболее реалистические схемы и тем самым углублять наши представления о явлениях.



В настоящее время имеется ряд моделей для описания взаимодействий адронов при высоких энергиях. Их можно условно разделить на три группы: а) модели, исходящие из представления об образовании одной возбужденной системы в акте множественного процесса^{/5/} (гидродинамическая, статистическая, термодинамическая модели и т.д.), б) модели, предполагающие наличие двух возбужденных систем^{/6/} (модели фрагментации, неупругой дифракции, и т.п.), в) модели, в которых имеется много возбужденных центров^{/7/} (мультипериферическая, мультиреджевская, кластерные, струйные и т.д.).

Все эти модели, в свою очередь, удовлетворительно описывают экспериментальную ситуацию множественного рождения адронов вплоть до энергий 100 ГэВ/с. При более высоких энергиях эти модели по отдельности не дают хорошего описания множественных характеристик. Однако из-за медленного (приблизительно логарифмического) изменения с энергией основных характеристик процессов множественного рождения нельзя однозначно сделать выбор между этими моделями. В этом смысле очень важным представляется получение новых данных по антипротон-протонному рассеянию при энергии $\sqrt{s} = 540$ ГэВ на SPS COLLIDER в ЦЕРНе^{/8/}. Благодаря этому огромному скачку энергии ($\sqrt{s_{max}} = 63$ ГэВ на ISR) даже такая общая характеристика, как средняя множественность, оказывается чувствительной к разным моделям. При этом становится все более очевидным преимущество синтетического - многокомпонентного подхода, апеллирующего к наличию двух или более одновременно действующих механизмов генерации частиц, лишь в совокупности дающих наблюдаемую множественность^{/9/}.

Цель работы состоит в формулировке и развитии многокомпонентной модели двух механизмов, в рамках которой достигается хорошее согласие с экспериментальными данными по адрон-адронным взаимодействиям при высоких энергиях.

Научная новизна и практическая ценность

В диссертации в рамках развитой модели двух механизмов проведен феноменологический анализ основных характеристик множественного рождения адронов при высоких энергиях. Достигнуто хорошее совместное описание имеющихся экспериментальных данных по множественным распределениям и их корреляционным моментам, а также по инклюзивным и полунинклюзивным распределениям в адрон-адронных процессах с ограниченными поперечными импульсами.

Исследован механизм рождения вторичных адронов через промежуточное образование многочастичных адронных ассоциаций (кластеров, резонансов и т.д.) и показана согласованность его с экспериментом.

Проведенный в рамках модели анализ приводит к выводу о возрастании роли все более многочастичных кластеров с ростом энергии сталкивающихся частиц.

Результаты диссертации представляют интерес в связи с вводом в строй ускорителей на сверхвысокие энергии.

Следующие результаты выдвигаются для защиты:

В рамках многокомпонентного подхода сформулирована и развита модель двух механизмов множественных процессов с ограниченными поперечными импульсами.

Достигнуто хорошее описание экспериментальных данных по множественным распределениям и их корреляционным моментам одновременно для \bar{p} , p , $-K^{\pm}$, $-P^{\pm}$ - протонных взаимодействий в широком интервале энергий (до $\sqrt{s} = 540$ ГэВ) с учетом зависимостей от некоторых квантовых чисел сталкивающихся частиц.

Выявлено наличие определенных структурных особенностей для полунинклюзивных характеристик множественных процессов в зависимости от топологии события.

Получено хорошее описание зарядово-нейтральных корреляций вторичных частиц.

Полученное соответствие схемы распада кластеров экспериментальным данным дает возможность уточнить физические характеристики и смысл промежуточных адронных образований в процессе множественного рождения при высоких энергиях.

Апробация диссертации

Материалы диссертации докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, Ереванского государственного университета, на сессиях ОЯФ АН СССР (1979, 1980 гг.), международных семинарах по физике высоких энергий (Дуона, 1978 г., Серпухов, 1979, 1980 гг., Сухуми, 1982 г.) и др.

Публикации

По результатам диссертации опубликовано шесть статей.

Объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и библиографического списка литературы, содержит 109 страниц машинописного текста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается краткий обзор эмпирических закономерностей, установленных как на ускорителях элементарных частиц, так и в космических лучах и стимулировавших развитие различных теоретических схем и подходов к описанию процессов множественного рождения.

В первой главе диссертации рассмотрены вопросы феноменологии многокомпонентного описания неупругих процессов, описаны возможные механизмы, приводящие к появлению различных компонент в распределениях по множественности.

В первом и втором параграфах формулируется феноменологическая модель двух механизмов, являющаяся конкретной реализацией многокомпонентного подхода для описания процессов множественного рождения. Описываются механизмы рождения вторичных частиц: а) механизм дифракционной диссоциации налетающих частиц, вносящий большой вклад в малые множественности и охватывающий эффект лидирующих частиц, б) механизм независимого испускания разных сортов нейтральных адронных ассоциаций - кластеров, связанный с центральной областью образования вторичных частиц.

В третьем параграфе исследуются распределения по числу частиц и соотношения для средней множественности в изучаемой модели. Показано, что распределения по числу заряженных частиц отклоняются от пуассоновских, но могут быть представлены в виде их суперпозиции. Средняя множественность при этом может быть просто связана с параметрами задачи - средними числами различных групп кластеров:

$$\langle n_c \rangle = 2a + 4b - 4\alpha + 6,$$

где a и b - средние числа кластеров, распадающихся на две и четыре заряженные частицы соответственно, α - параметр, характеризующий диссоциацию протона и имеющий смысл вероятности диссоциации не более чем на одну заряженную частицу.

Эти результаты применяются для описания экспериментальных данных по топологическим сечениям и их корреляционным моментам в широком интервале энергий (от десятков до тысяч ГэВ/с) в протон-протонных соударениях. Показано, что с ростом энергии увеличивается вклад тяжелых многочастичных кластеров: так, при достижимых на ускорителях энергиях основную роль играют четырехчастичные кластеры, на это указывают поведение вторых корреляционных моментов одноименно заряженных вторичных частиц и характер отклонения от КНО-скейлинга. Этот вывод также согласуется с данными, полученными в экспериментах с космическими лучами.

В четвертом параграфе изучена зависимость топологических характеристик от квантовых чисел сталкивающихся адронов. При этом достигнуто вполне удовлетворительное единое описание имеющихся экспериментальных данных по множественным распределениям, средним множественностям и другим корреляционным параметрам для $\bar{p}p$, pp , K^+p , π^+p - взаимодействий в широком интервале энергий соударения ($\sqrt{s} \sim 19 \rightarrow 540$ ГэВ; $\chi^2 \approx 1,6$).

Проведенный модельный анализ дает возможность сделать ряд выводов и предсказаний о проявлении определенных закономерностей множественных характеристик.

Распределения по множественности расширяются с ростом энергии, эти распределения значительно шире пуассоновских с данной средней множественностью. При этом "скорость" расширения различна для разных процессов при сверхвысоких энергиях: $\sqrt{pp} < \sqrt{Kp} < \sqrt{\pi p}$.

Средняя множественность растет, как $\ln^{3/2} S + \ln^2 S$. При этом для разных процессов степень роста этой величины разная:

$$\langle n_c \rangle \sim A + B (\ln S/S_0)^\delta,$$

где для χ при описании эксперимента найдены следующие значения:

	$\bar{p}p$	pp	K^+p	π^+p	$\bar{p}p$	π^+p
χ	$\pm 1,655$	$\pm 1,630$	$\pm 1,894$	$\pm 1,868$	$\pm 2,038$	$\pm 2,012$
	$0,085$	$0,090$	$0,076$	$0,081$	$0,070$	$0,075$

Вторая глава посвящена выявлению некоторых структурных особенностей топологических характеристик процессов множественного рождения.

В первом параграфе показано, что в рамках модели допускаются некоторые нерегулярности в поведении топологических характеристик в зависимости от топологии процесса n_c , обусловленные рассмотренными в модели четырехчастичными кластерами. Оказывается, однако, что множественные распределения W_{n_c} к ним не очень чувствительны. Более удобной в этом смысле топологической характеристикой является средняя множественность нейтральных частиц при фиксированном числе заряженных $\langle n_0 \rangle_{n_c}$. Она связана с множественным распределением W_{n_c} :

$$\langle n_0 \rangle_{n_c} = C + D \frac{W_{n_c-2}}{W_{n_c}},$$

где коэффициенты C и D не зависят от топологии n_c и связаны со средними числами разных сортов кластеров.

Во втором параграфе изучается количественная связь возможных

негладкостей $\langle n_0 \rangle_{n_c}$ с характерным отношением параметров модели a и b , представляющих собой средние числа двухчастичных и четырехчастичных кластеров соответственно, $X = a^2/4b$. Показано, что имеет место осциллирующий характер зависимости $\langle n_0 \rangle_{n_c}$ от топологии n_c вплоть до некоторого n_c^0 , определяемого через значение отношения $X = a^2/4b$, после которого полученная структура сглаживается и эффект исчезает (см. рис.1).

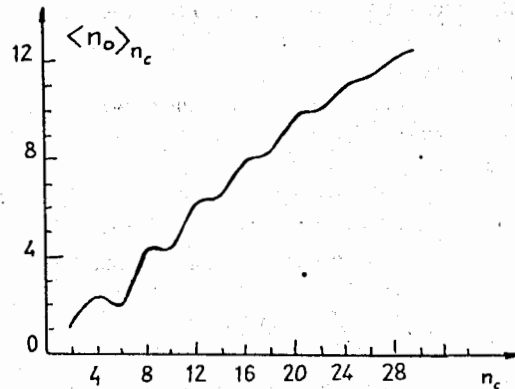


Рис. I

	4	8	12	16	20	...
$n_c^0 =$	0,500	0,180	0,315	0,272	0,241	...

Проведенное сравнение с экспериментом показывает, что экспериментальные данные не противоречат предсказаниям о структуре $\langle n_0 \rangle_{n_c}$ с выполаживанием при больших для данной энергии значениях n_c .

В третьем параграфе исследуется поведение средней ассоциативной множественности нейтральных частиц при фиксированном числе заряженных - $\langle n_0(\vec{P}) \rangle_{n_c}$. Выяснено, что формулы модели обобщают некоторые результаты, полученные в рамках модели статистического распада единой возбужденной системы в множественном процессе. Показано, что изученные выше, в §2, структурные негладкости (см. рис.1) увеличиваются с ростом импульса \vec{P} выделенной частицы.

В четвертом параграфе на основе рассмотрения автомодельных свойств инклюзивных спектров получено масштабно-инвариантное соотношение для средней ассоциативной множественности нейтральных частиц:

$$\frac{\langle n_0(\vec{P}) \rangle_{n_c}}{\langle n_0(\vec{P}) \rangle} = \int_{z_c}^{\infty} z F(z) dz / \int_{z_c}^{\infty} F(z) dz - z_c \equiv \phi(z_c),$$

где $z_c = n_c / \langle n(\vec{P}) \rangle$, а функция $F(z)$ параметризуется в виде $F(z) = z^{a-1} e^{-az}$. Экспериментальный анализ этого соотношения может служить критерием справедливости предложенной схемы взаимодействия.

В третьей главе диссертации в рамках предложенной схемы рассмотрены инклюзивные и полунклюзивные, а также корреляционные характеристики множественных процессов.

В первом параграфе полученная выше схема развивается с целью исследования полунклюзивных характеристик множественных процессов в центральной области, таких, как быстротные корреляции, одночастичные и двухчастичные распределения по быстроте.

Во втором параграфе проводится аналогичный выполненному в предыдущей главе анализ с целью выявления структурных особенностей этих характеристик. Показана нетривиальная зависимость рассмотренных величин от топологии процесса. Проведенный анализ позволяет связать эти особенности с количественным соотношением двухчастичных и четырехчастичных кластеров. В частности, при объяснении роста высоты плато полунклюзивных распределений по быстроте в центральной области с ростом n_c еще раз подтверждается вывод о возрастающей с увеличением энергии роли все более многочастичных адронных ассоциаций - кластеров с $n_{кл} \geq 4$.

В третьем параграфе на основе рассмотрения статистического распада кластеров устанавливаются значения масс и размер кластеров. Для массы двухчастичного кластера получается значение, совпадающее с массой ρ -мезона: $\bar{M}_{(2)} = 0,765 \text{ ГэВ}/c^2$. Показана самосогласованность схемы, когда четырехчастичные кластеры распадаются через промежуточный распад на два ρ -мезона. На это указывает также найденное из сравнения с экспериментом (гл.II) близкое к двойке отношение параметров модели: $\frac{a(s)}{b(s)} = 2,13$, что соответствует ситуации, когда четырехчастичный кластер, являясь $SU(3)$ -синглетным образованием, распадается сначала на два двухчастичных векторных состояния (например, ρ -мезоны), последующий распад которых дает наблюдаемые вторичные пионы: $B \rightarrow \rho\rho \rightarrow 4\pi$.

В четвертом параграфе в рамках многокомпонентного подхода изучается поведение распределений вторичных частиц по псевдобыстроте при сверхвысоких энергиях. Полученные результаты сравниваются с экспериментальными данными по $\bar{p}p$ -взаимодействиям при энергии $\sqrt{s} = 540 \text{ ГэВ}$, полученными на SPS COLLIDER в ЦЕРНе. При этом достигнуто хорошее описание этих данных. Предсказываемое в модели двух механизмов значение средней множественности заряженных частиц $\langle n_c \rangle_{\text{мод}} = 27,7 \pm 2,5$ также хорошо согласуется с экспериментальным значением этой величины: $\langle n_c \rangle_{\text{экс}} = 27,4 \pm 2,0$ (см. рис.2).

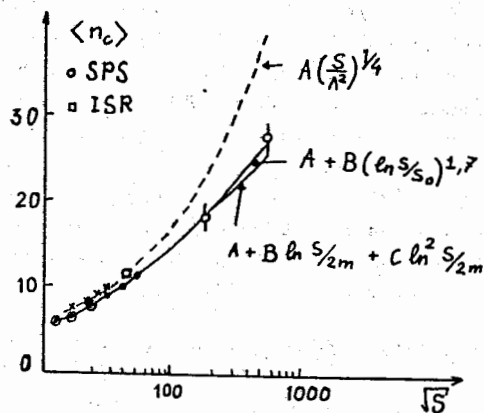


Рис. 2

В заключении приведены основные результаты, полученные в диссертации.

Сформулирована и развита модель двух механизмов для описания процессов с большой множественностью.

В рамках модели двух механизмов достигнуто хорошее количественное описание экспериментальных данных по топологическим сечениям и корреляционным моментам в широком интервале энергий для $\bar{p}p$, pp , $K^{\pm}p$, $p^{\pm}p$ -взаимодействий.

Изучена зависимость топологических характеристик от квантовых чисел сталкивающихся адронов.

Изучен возможный вариант развития множественного процесса через промежуточное образование адронных ассоциаций вторичных частиц - кластеров, дающий возможность хорошего описания экспериментальных данных, а также предсказаний для наблюдаемых величин при сверхвысоких энергиях.

Изучен эффект положительных зарядово-нейтральных корреляций, обнаруженных экспериментально на ускорителях, согласующийся с представлениями развитой модели.

Предсказаны некоторые структурные особенности топологических характеристик множественных процессов. Показана их непротиворечивость имеющимся экспериментальным данным.

В рамках предложенной в диссертации многокомпонентной модели для полуинклюзивных процессов установлен и изучен корреляционный характер ассоциативной множественности, а также полуинклюзивных сечений. Из рассмотрения автомодельных свойств этих распределений

получено масштабно-инвариантное соотношение для средней ассоциативной множественности нейтральных частиц.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. А.Н.Сисакян, Г.Т.Торосян. "Топологические характеристики и кластеры в множественных процессах при высоких энергиях". ОИЯИ, P2-12685, Дубна, 1979.
2. И.В.Луценко, А.Н.Сисакян, Г.Т.Торосян. "Инклюзивные и полуинклюзивные характеристики при высоких энергиях в многокомпонентной модели". ОИЯИ, P2-13049, Дубна, 1980.
3. Я.З.Дарбаидзе, А.Н.Сисакян, Л.А.Слепченко, Г.Т.Торосян. "Корреляции нейтральных и заряженных частиц в многокомпонентном подходе". ОИЯИ, P2-80-298, Дубна, 1980. ЯФ, т.34, с. 844, 1981.
4. С.Ш.Мавродиев, А.Н.Сисакян, Г.Т.Торосян. "Топологические характеристики в множественных процессах при высоких энергиях". ОИЯИ, Д2-81-423, Дубна, 1981.
5. С.Дренска, С.Ш.Мавродиев, А.Н.Сисакян, Г.Т.Торосян. "Некоторые предсказания для характеристик упругого и неупругого взаимодействия адронов при высоких энергиях". ОИЯИ, Д2-82-280, Дубна, 1982.
6. Я.З.Дарбаидзе, А.Н.Сисакян, Л.А.Слепченко, Г.Т.Торосян. "Автомодельный анализ полуинклюзивных распределений в $\bar{p}p$ -соударениях при $\sqrt{s} = 540$ ГэВ". ОИЯИ, Д2-82-297, Дубна, 1982.

Цитированная литература

1. Н.Н.Боголюбов, Д.В.Ширков. Введение в теорию квантованных полей. 3-е изд., М., "Наука", 1976.
Н.Н.Боголюбов, Б.В.Медведев, М.К.Поливанов. Вопросы теории дисперсионных соотношений. М., Физматгиз, 1958.
2. А.А.Логунов, М.А.Мествиришвили, Nguen Van Hieu. Phys.Lett., 25B, 611, 1967.
А.А.Логунов, М.А.Мествиришвили. ОИЯИ, Д1-2-74II, Дубна, 1973.
R.Feynman. Phys.Rev.Lett., 23, 1415, 1969.
3. Н.Н.Боголюбов, В.С.Владимиров, А.Н.Тавхелидзе. ТМФ, т.2, с. 3; 305, 1972.
Р.Фейнман. Взаимодействия фотонов с адронами. М., "Мир", 1975.
В.А.Матвеев, Р.М.Мурадян, А.Н.Тавхелидзе. ЭЧАЯ, т.2, с. 7, 1970.
4. В.В.Ежела, А.А.Логунов, М.А.Мествиришвили. ИФВЭ, СФ-72-1, Серпухов, 1972.

5. И.В.Андреев, И.М.Дремин. УФН, т.122, с. 37, 1977.
 Е.Л.Фейнберг. УФН, т.104, с. 539, 1971.
 E.Fermi. Progr. Theor.Phys., v. 5, 570, 1950.
 Л.Д.Ландау. Собрание трудов, т.2, М., "Наука", с.536, 1969.
6. С.В.Мухин, В.А.Царев. ЭЧАЯ, т.8, с. 989, 1977.
 J.Venecke, T.T.Chou, C.N.Yang, E.Yen. Phys.Rev., 88, 2159, 1969.
7. Ю.П.Никитин, И.Л.Розенталь. Теория множественных процессов. М., Атомиздат, 1976.
 А.А.Анселм. В кн.: Материалы VIII зимней школы ЛИЯФ по физике ядра и элементарных частиц. Л., 1973, с. 37.
 К.А.Тер-Мартirosян. Итоги развития реджевской схемы и эксперимент. М., МИФИ, 1975.
8. A.Alpgard et al., Phys.Lett., 107B, 310, 317, 1981.
9. S.P.Kuleshov, V.A.Matveev, A.N.Sissakian. Fizika, 5, p. 67, 1973.
 V.G.Grishin, S.P.Kuleshov, V.A.Matveev, A.N.Sissakian, G.Janco. Nuovo Cim.Lett. 8, p. 67, 1973.
 A.N.Sissakian. JINR E2-9086, Dubna, 1975, p. 243.

Рукопись поступила в издательский отдел
 10 июня 1983 года.