ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2011–4
ЛДС

Сотрудничество СВД-2

Е.Н. Ардашев, А.Г. Афонин, А.П. Воробьев, В.Ф. Головкин, С.Н. Головня, С.А. Горохов, В.Н. Запольский, А.А. Киряков, Л.Л. Курчанинов, И.С. Лобанов, Е.В. Лобанова, Г.Я. Митрофанов, В.С. Петров, А.В. Плескач, М.К. Полковников, В.М. Роньжин, В.Н. Рядовиков, В.А. Сенько, М.М. Солдатов, А.Г. Холоденко, Ю.П. Цюпа, Н.А. Шаланда, В.И. Якимчук
ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино

С.Г. Басиладзе, Г.А. Богданова, А.М. Вишневская, В.Ю. Волков, А.Г. Воронин, Н.И. Гришин, Я.В. Гришкевич, П.Ф. Ермолов, Е.Г. Зверев, Д.Е. Карманов, В.Н. Крамаренко, А.В. Кубаровский, А.К. Лефлат, С.И. Лютов, М.М. Меркин, В.В. Попов, Л.А. Тихонова
Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва

В.В. Авдейчиков, А.Н. Алеев, В.П. Баландин, В.А. Будилов, Ю.Т. Бурзунов, Н.К. Жидков, Г.Д. Кекелидзе, В.И. Киреев, Е.С. Кокоулина, Н.А. Кузьмин, Г.И. Ланщиков, В.М. Лысан, В.В. Мялковский, В.А. Никитин, Ю.П. Петухов, В.Д. Пешехонов, И.А. Руфанов, В.И. Спирякин, А.В. Терлецкий, Н.Ф. Фурманец, Ю.А. Ченцов, А.И. Юкаев
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

М.А. Батурицкий
НЦ ФЧВЭ, Минск, Беларусь

А.В. Карпов, А.Я. Кутов
Отдел математики УрО РАН, Сыктывкар, Россия

Топологические сечения в pp-взаимодействиях при 50 ГэВ

Направлено в *ЯФ*

Протвино 2011

УДК 539.1.074.3 М-24

Аннотация

Ардашев Е.Н. и др. Топологические сечения в pp-взаимодействиях при 50 ГэВ: Препринт ИФВЭ 2011-4. – Протвино, 2011. – 11 с., 7 рис., библиогр.: 13.

В проекте «Термализация» (эксперимент SERP-E-190), нацеленном на изучение pp-взаимодействий с большим числом вторичных частиц, выполнено измерение топологических сечений при энергии первичного пучка 50 ГэВ. Топологические сечения получены с учетом поправок на эффективность реконструкции событий, аксептанс аппаратуры и эффективность детектирования. Данные находятся в хорошем согласии с моделью глюонной доминантности. Сравнение с другими моделями также не обнаруживает существенных отклонений.

Abstract

Ardashev E.N. et al. Topological cross-sections in pp-interactions at 50 GeV: IHEP Preprint 2011-4. – Protvino, 2011. – p. 11, figs. 7, refs.: 13.

Project Thermalization (Experiment SERP-E-190 at IHEP) is aimed to study the proton – proton interactions at 50 GeV with large number of secondary particles. In this report the experimentally measured topological cross sections are presented taking into account the detector response and procession efficiency. These data are in good agreement with gluon dominance model. The comparison with other models is also made and shows no essential discrepancies.

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 2011

Введение

Изучение процессов с большой множественностью частиц в конечном состоянии важно для понимания природы сильных взаимодействий. Проект «Термализация» (эксперимент SERP-E-190) [1] нацелен на изучение таких процессов с числом вторичных частиц значительно превышающим среднюю множественность в pp-взаимодействиях при энергии первичного пучка 50 ГэВ на установке СВД-2 ускорителя У-70 (ГНЦ ИФВЭ, Протвино).

В семидесятых годах на пузырьковой камере «Мирабель» были измерены топологические сечения в pp-взаимодействиях при 50 ГэВ, вплоть до 16 заряженных частиц [2]. В настоящей работе продолжено измерение этих сечений до 24 заряженных частиц в конечном состоянии. Для этих целей установка СВД-2 имеет в своём составе жидководородную мишень [3], микростриповый кремниевый вершинный детектор (ВД) [1], магнитный спектрометр с пропорциональными камерами [4] и систему дрейфовых камер [5]. Для подавления регистрации событий с малой множественностью в триггере первого уровня используется лепестковый сцинтилляционный годоскоп [6]. Кроме того, в установке имеются черенковский счётчик и детектор гамма-квантов [8]. Распределение по множественности заряженных частиц получено с учётом поправок на аксептанс

установки и эффективность системы обработки данных с использованием физических моделей и моделирования по программе GEANT3.14.

Моделирование событий в pp-взаимодействиях при 50 ГэВ с помощью программы PYTHIA5.6 показывает, что этот стандартный физический генератор предсказывает значения топологических сечений удовлетворительно только при множественностях вторичных заряженных частиц $N_{ch}<10$ и занижает значения топологических сечений на два порядка величины при $N_{ch}=18$ [1]. Поэтому для получения поправок на эффективность регистрации в установке СВД событий с большим числом заряженных частиц $N_{ch}>10$ и эффективность системы обработки данных были использованы статистические модели.

1. Отбор событий, реконструкция треков и процедура поправок

Эксперимент выполняется на модернизированной установке СВД-2 (Спектрометр с Вершинным Детектором), расположенной на выведенном пучке протонов ускорителя У-70 ИФВЭ, Протвино [1].

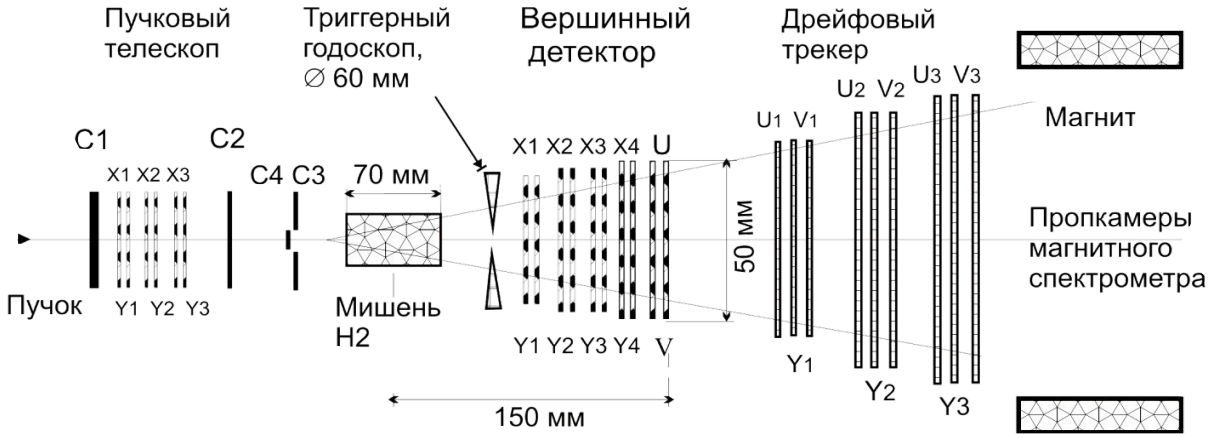

Рис. 1. Схема головной части установки СВД-2.

Схема головной части установки СВД-2 показана на рис. 1. Её основные элементы:

1. Пучковый телескоп, определяющий параметры пучка: интенсивность, положение и др. В него входят сцинтилляционные счётчики C1–C4 и 6 плоскостей микростриповых кремниевых детекторов (X, Y) размером 10x10 мм^2 с шагом стрипов 25 и 50 мкм. Микростриповые кремниевые детекторы определяют траекторию каждой пучковой

частицы. Счётчики С1– С4 вырабатывают триггер на пучковую частицу (триггер нулевого уровня), регистрируют интенсивность пучка и его временную растяжку. Счётчик С3 имеет отверстие диаметром 6 мм для прохода пучка. Он включён со счётчиками С1, 2, 4 на антисовпадение для подавления гало пучка.

2. Жидководородная мишень. Размеры мишени: длина сосуда с жидким водородом по пучку 70 мм, диаметр 27 мм. Толщина лавсановых стенок сосуда 100 мкм.

3. Триггерный годоскоп состоит из 19 установленных по окружности сцинтилляционных детекторов. Чувствительный объем годоскопа представляет собой диск диаметром 60 мм и толщиной 1.6 мм. Для пропускания пучка диск имеет отверстие диаметром 3.2 мм.

4. Вершинный детектор (ВД) состоит из 10 плоскостей микростриповых кремниевых детекторов (X, Y, U, V). Детекторы (U,V) повёрнуты относительно детекторов (X,Y) на угол ± 10.5^0. Шаг стрипов 50 мкм. Вершинный детектор является важнейшим элементом установки, позволяющим восстановить координаты вершины и траектории заряженных частиц в событиях с большой множественностью.

5. Система дрейфовых камер состоит из 9 плоскостей, которые определяют координаты траектории частиц с точностью 200 мкм. Это позволяет уточнить параметры треков, полученные в вершинном детекторе.

Для измерения топологических сечений в данной работе была использована координатная информация о треках заряженных частиц в пучковом телескопе и вершинном детекторе, полученная в сеансе 2008 года. В этом сеансе на установке СВД-2 зарегистрировано 5.13 млн. неупругих взаимодействий. Из этой статистики отобрано 3.85 млн. событий с уровнем триггера 8. Из них 2.1 млн. событий было зарегистрировано с точкой взаимодействия в эффективном объеме водородной мишени. Для окончательного анализа было использовано около 1.0 млн. событий. Эти события отбирались с учетом следующих критериев:

а) число пучковых треков, одновременно попадающих в мишень, не превышает 2;

б) неопределенность в реконструкции координаты точки взаимодействия по направлению вдоль пучка на двух проекциях меньше, чем 5 мм.

При диаметре колбы с водородом 27 мм область расположения вершин взаимодействий в поперечной плоскости занимает не более 6 мм в её центре. На рис. 2 приве-

дено распределение по Z-координате вершин взаимодействий. Ось Z направлена по пучку. Взаимодействия в водородной мишени занимают интервал 1405<Z<1470 мм. Пики, расположенные справа от мишени, соответствуют взаимодействиям в лавсановой пленке, кожухе мишени и триггерном годоскопе.

Алгоритм реконструкции треков и вершин в установке СВД-2 описан в работе [8]. Пространственные координаты хитов реконструируются с учетом однострипoвых и многострипoвых кластеров. Для нахождения координаты в микростриповом детекторе применяется метод центра тяжести кластера: $\langle X\rangle = \Sigma A_i \times X_i / \Sigma A_i$, где X_i – координаты стрипа и A_i – амплитуда сигнала на нем. Трек описывается прямой линией отдельно для XZ и YZ проекций с 3 или 4 хитами. Для реконструкции трека применяется метод фильтра Калмана, использование которого эффективно при повышенном шуме в стриповых плоскостях. Для восстановления трека требуется наличие по одному хиту на первых двух микростриповых плоскостях ВД. Среди нескольких кандидатов в треки выбираются треки с меньшими χ-квадратами. Если кандидат с 4 хитами имеет больший χ-квадрат, чем кандидат с 3 хитами, принимается кандидат с 4 хитами. Два трека могут проходить через общие хиты (один или два). Многократное рассеяние в веществе вызывает отклонение трека от прямой линии. В нашем случае это отклонение на последней плоскости ВД не превышает точности измерения координаты, которая составляет 15 мкм. Вершина взаимодействия определяется методом наименьших квадратов.

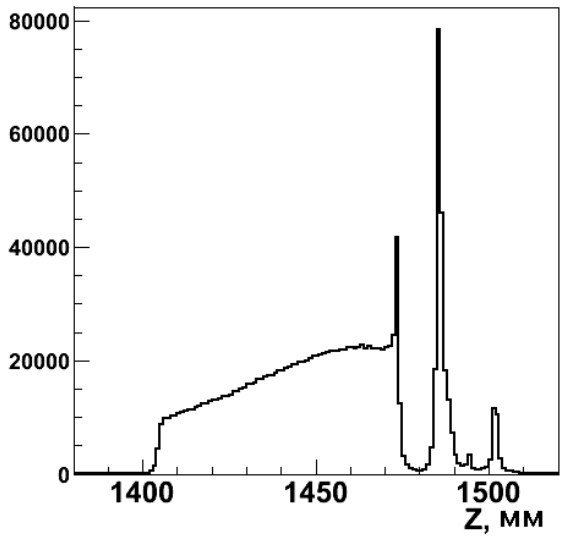

Рис. 2. Распределение по координате вершин взаимодействий вдоль первичного пучка.

Для генерации pp-взаимодействий с большой множественностью заряженных частиц $N_{ch} \geq 10$ используются статистические модели, основанные на распределениях Больцмана и Бозе. Моделирование регистрации вершин и треков в установке СВД-2 было выполнено с помощью программы GEANT3.14. Затем эти данные обрабатываются по процедурам, используемым для обработки экспериментальных данных. Анализ результатов моделирования показывает, что точность реконструкции вершины составляет 30 мкм по X-, Y-осям и 400 мкм по оси Z. Средние значения промаха восстановленных треков относительно вершины взаимодействия равны 0.28 мм по X- и 0.36 мм по Y-координатам. Треки с отклонением от вершины более чем 1 мм отбрасываются, доля таких треков составляет 0.1% при моделировании (рис. 3). В эксперименте промах более чем 1 мм имеют 9% треков (рис. 4). Треки с большим промахом принадлежат вторичным вершинам или являются ложными. Их источники обусловлены фоном, нарушениями юстировки и вторичными взаимодействиями. Треки в пространстве реконструируются с помощью двух косых плоскостей *U* и *V*, расположенных в конце вершинного детектора. Распределение треков из первичной вершины в пространстве по полярному углу Θ представлено на рис. 5. Видно, что в апертуру ВД попадают только треки с углом Θ<12°.

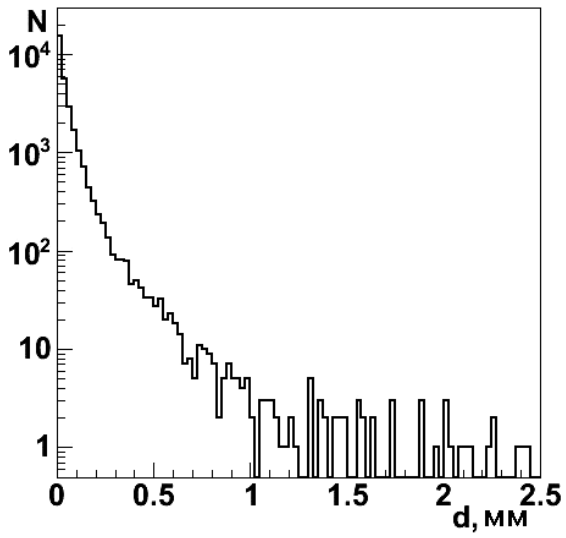

Рис. 3. Распределение по промаху треков для моделированных событий.

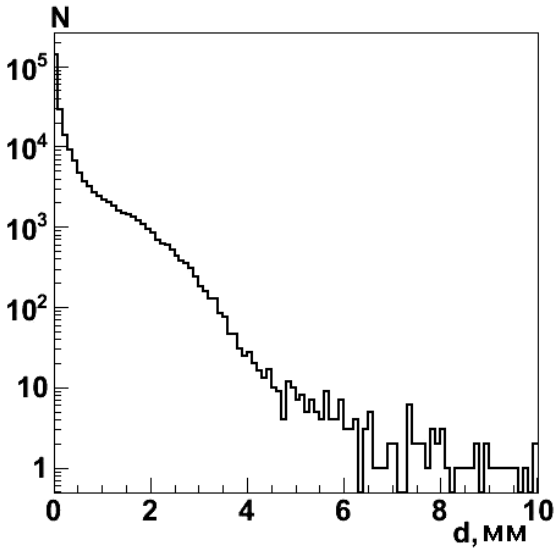

Рис. 4. Распределение по промаху треков для экспериментальных событий.

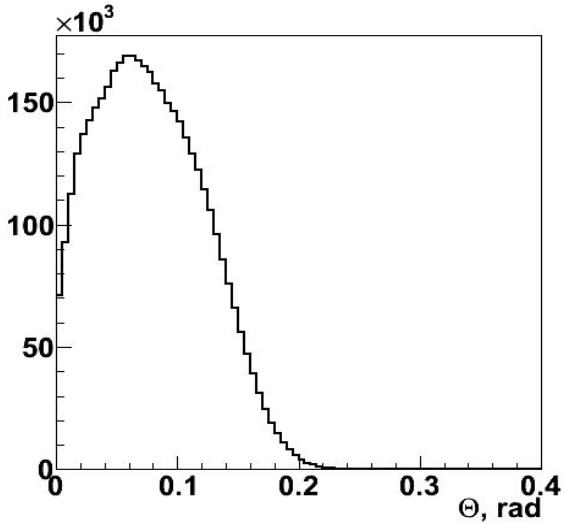

Рис. 5. Распределение треков в пространстве по полярному углу Θ.

Процедура поправки множественности треков заряженных частиц выполнялась с учетом влияния аксептанса установки и эффективности алгоритма реконструкции треков в ВД. Из моделирования была получена таблица коэффициентов $a_{ij} = N_i / N_j$, где a_{ij} есть вероятность успешно реконструировать i заряженных треков в событии с j заряженными треками; N_j есть число моделированных событий с j заряженными треками, из них N_i событий были реконструированы как события с i заряженными треками. Индекс i принимает все значения от 1 до 24, индекс j – только четные от 2 до 24. Таблица коэффициентов рассчитывалась с использованием моделирования регистрации событий в установке с учетом триггерных условий (GEANT3.14) и последующей обработки полученных данных с помощью программы реконструкции событий. В результате имеется переопределенная система линейных уравнений для 12 неизвестных величин x_j: $\Sigma^{24}_{j=2} a_{ij}x_j=b_i$; где b_i есть экспериментальное число событий с реконструированной множественностью i. Эту систему можно решить обычным методом Гаусса-Зайделя или методом наименьших квадратов [9]. Оба метода дают близкие результаты, в пределах ошибок, поэтому используются результаты, полученные методом Гаусса-Зайделя. Для уменьшения влияния триггерных условий, которые трудно достоверно воспроизвести при моделировании событий с малой множественностью, находились решения x_j для j только в диапазоне от 10 до 24 частиц с использованием экспериментальных значений b_j для i от 8 до 24. В этом случае эффективность триггера близка к единице и его влияние на коэффициенты незначительно.

Как отмечено выше, генерация событий выполнена в соответствии с моделями, основанными на распределениях Больцмана и Бозе. Различия в коэффициентах a_{ij}, полученных в этих моделях, использовались для оценки систематических ошибок в измеренных топологических сечениях. Поправленные топологические сечения для pp-взаимодействий при 50 ГэВ представлены в табл. 1. В табл. 2 приведены топологические сечения, полученные ранее на камере «Мирабель» [2].

Таблица 1. Топологические сечения для pp-взаимодействий при 50 ГэВ, полученные в настоящей работе (эксперимент SERP-E-190).

N_{ch}	10	12	14	16	18	20	22	24
σ, мбн	1.685	0.789	0.234	0.0526	0.0104	0.0017	0.00033	0.000054
Δσ, мбн	0.017	0.012	0.006	0.0031	0.0014	0.0006	0.00024	0.000098

Таблица 2. Топологические сечения для pp-взаимодействий при 50 ГэВ, полученные на камере «Мирабель».

N_{ch}	2	4	6	8	10	12	14	16
σ, мбн	5.97	9.40	7.99	5.02	2.03	0.48	0.20	0.01
Δσ, мбн	0.88	0.47	0.43	0.33	0.20	0.10	0.06	0.02

В настоящей работе уточнены данные камеры «Мирабель» для N_{ch} от 10 до 16 и добавлены 4 новые экспериментальные точки от 18 до 24. Сечение в крайней точке N_{ch} =24 на три порядка величины меньше, чем измеренное на камере «Мирабель» при N_{ch}=16. Измеренные сечения нормировались на данные с камеры «Мирабель», усредненные для N_{ch}=10, 12, 14. Это позволило определить полное неупругое сечение при 50 ГэВ σ=31.50±1.14 мбн, среднюю множественность заряженных частиц $\langle N_{ch}\rangle$= 5.45±0.24, дисперсию D_2=7.21±2.80 и второй корреляционный момент f_2=1.75.

На рис. 6 показаны не поправленные на аксептанс установки и эффективность регистрации экспериментальные данные, преобразованные к величинам сечений. Там же приведены откорректированные топологические сечения вместе с сечениями, полученными на камере «Мирабель».

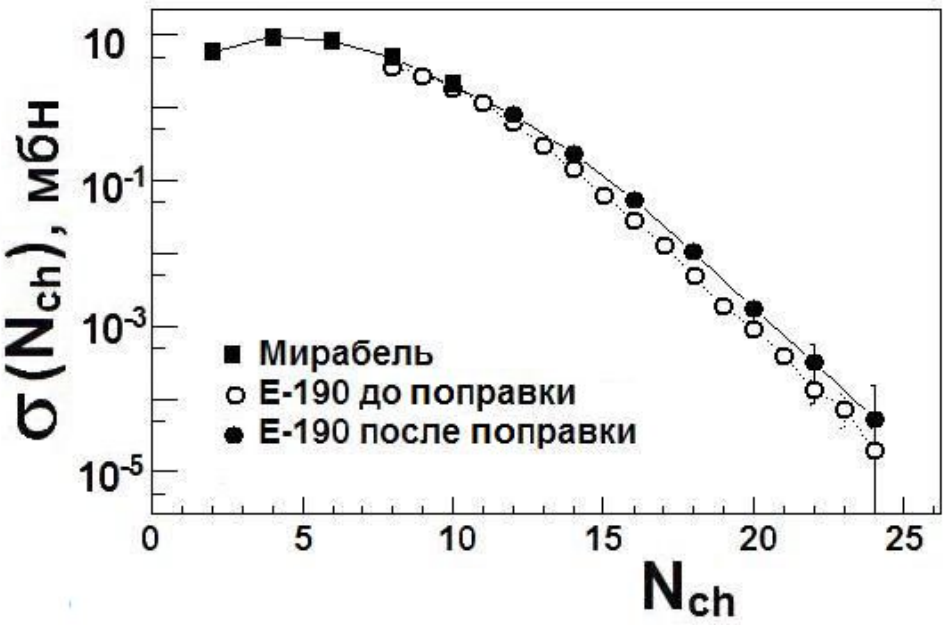

Рис. 6. Экспериментальные топологические сечения для pp-взаимодействий при 50 ГэВ совместно с данными с камеры «Мирабель» перед и после введения поправок.

2. Сравнение с моделями

В настоящее время только несколько феноменологических моделей дают предсказания для распределений по множественности заряженных частиц в области больших множественностей [10-13]. Одна из них – модель глюонной доминантности (МГД) [11], построенная на основных положениях КХД и дополненная феноменологическим механизмом адронизации. Такой подход указывает на проявление в процессе множественного рождения активности глюонов и пассивную роль валентных кварков. МГД подтверждает рекомбинационный механизм адронизации в адронных и ядерных взаимодействиях и фрагментационный механизм адронизации в лептонных процессах. Сравнение предсказаний МГД с экспериментальными данными приведено на рис. 7. Там же сравниваются экспериментальные данные с другими моделями.

Аналитическое выражение для распределения по множественности вторичных частиц было получено теоретической группой ГНЦ ИФВЭ в 70-х годах [12]. В работе изучается связь между упругими и неупругими процессами при высоких энергиях на основе рассмотрения спектральной плотности вклада неупругих каналов в условие унитарности, полученное при вероятностном описании процессов рассеяния при высоких

энергиях, что позволяет вывести формулу для функции распределения по числу вторичных частиц, которая хорошо согласуется с экспериментальными данными. Обе модели дают неплохое совпадение с экспериментальными данными, полученными в настоящей работе.

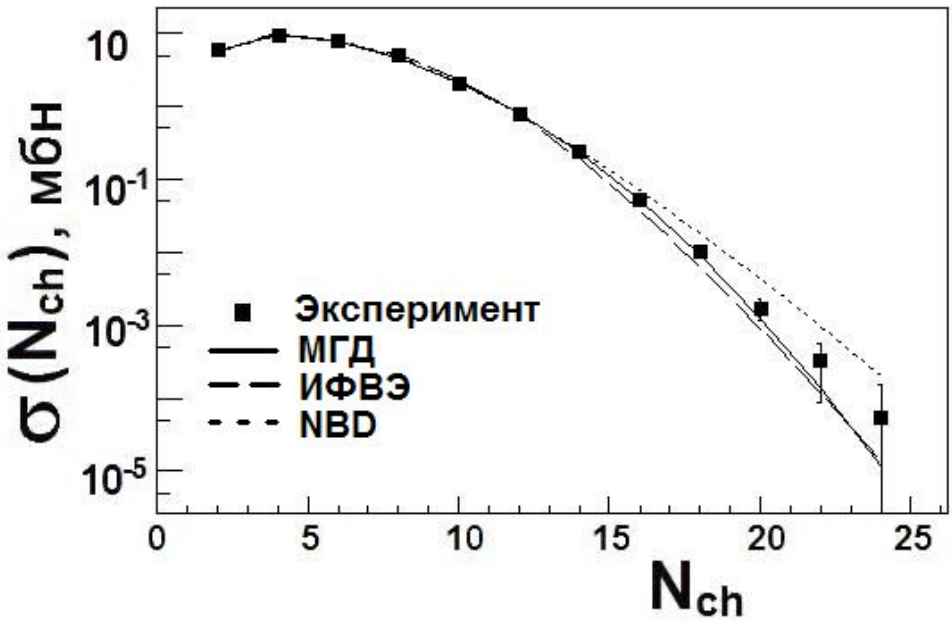

Рис. 7. Сравнение топологических сечений с МГД [11], моделью ИФВЭ [12] и NBD [13].

Отрицательное биномиальное распределение (NBD) часто используется для описания распределений по множественности. Для этой модели на рис. 7 наблюдается небольшое превышение значений сечений в области предельной множественности. Как было показано в ряде работ [13], введенное эмпирически, NBD-распределение является общей характеристикой для всех типов взаимодействий. Оно нашло своё объяснение на основе клановой (clan) структуры взаимодействий и проявлением двухстадийности динамического процесса множественного образования частиц, когда на первой стадии образуются зародыши (родители) кланов, а затем генерируются множества частиц через каскадные процессы.

Заключение

В эксперименте SERP-E-190 (проект «Термализация») на ускорителе У-70 (ГНЦ ИФВЭ, Протвино) регистрируются события с числом вторичных частиц, значительно превышающим среднюю множественность. Для этого используется модернизированная установка СВД-2. В работе получены распределения по множественности заряженных частиц в pp-взаимодействиях при 50 ГэВ вплоть до N_{ch}=24. С помощью моделирования вычислены поправочные коэффициенты, учитывающие потери треков из-за аксептанса установки и эффективности процедур обработки данных. После введения поправок получены значения экспериментальных топологических сечений. Добавлено 8 точек к ранее измеренным на камере «Мирабель» топологическим сечениям [2]. Полученное сечение в крайней точке N_{ch}=24 зарегистрированной множественности на три порядка величины меньше, чем измеренное на камере «Мирабель» при N_{ch}=16. Полное неупругое сечение pp-взаимодействий при 50 ГэВ составило σ=31.50±1.14 мбн, средняя множественность заряженных частиц $\langle N_{ch}\rangle$=5.45±0.24. Вычислены дисперсия D_2=7.21±2.80 и второй корреляционный момент f_2=1.75. Проведено сравнение полученных данных с несколькими моделями. Больших отклонений от предсказаний использованных моделей не обнаружено.

Работа была частично поддержана РФФИ (гранты № 08-02-90028 Bel_a, № 09-02-92424 KE_a, № 09-02-00445a, № 06-02-16954) и грантом Президента Российской Федерации для поддержки ведущих научных школ НШ.1456.2008.2.

Авторы признательны руководству ГНЦ ИФВЭ за поддержку в проведении исследований, персоналу ускорительного подразделения и Отдела пучков за эффективную работу У-70 и канала 22.

Список литературы

[1] V.V. Avdeichikov et al. Proposal “Termalization” (in Russian), JINR-P1-2004-190 (2005).

[2] V.V. Ammosov et al. // Phys. Lett. B 42, 519 (1972).

[3] Ю.Т. Борзунов, Л.Б. Голованов, В.И. Киреев, А.В. Плескач, В.Ф. Чумаков. Препринт ИФВЭ 2009 – 4, Протвино, 2009.
http://web.ihep.su/library/prep2009/ps/2009-4.pdf

[4] Г.А. Богданова и др. Препринт НИИЯФ МГУ-97-8.459, 1997.

[5] С.Г. Басиладзе и др. // ПТЭ. 2008. №3. С. 14.

[6] A. Avdeichikov et al. // Instruments and Experimental Techniques, N2, (2011).

[7] A. Aleev et al. (SVD-2 Collab.), in Proc. of the Intern. Conf.-School on Foundations and Advances in Nonlinear Science, Minsk, Belarus, 2006, p.1.

[8] А.А. Киряков и др.// ПТЭ. 2004. №5. С. 48-55.

[9] http://en.wikipedia.org/wiki/Gauss-Seidel_method

[10] O.G. Chikilev and P.V. Chliapnikov. // Phys. Atom. Nucl. 55, 820 (1992).

[11] E. Kokoulina. // Acta Phys.Polon. B 35, 295 (2004).
E.S. Kokoulina and V.A. Nikitin, in Proceedings of Baldin Seminar on HEP Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics", JINR, Dubna, Russia, p. 319 (2005).
P.F. Ermolov et al., in Proc. of Baldin Seminar on HEP Problems "Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics", JINR, Dubna, Russia, p. 327 (2005).

[12] S.V. Semenov, S.M. Troshin, N.E. Tyurin, O. A.Khrustalev. // Yad. Fiz. 22, 792 (1975).

[13] A. Giovannini and R. Ugocioni. // Int. J. Mod. Phys. A20, 3897 (2005).

Рукопись поступила 15 марта 2011 г.

Е.Н. Ардашев и др.

Топологические сечения в pp-взаимодействиях при 50 ГэВ.

Редактор Л.Ф. Васильева.

Подписано к печати 28.03.2011. Формат 60 × 84/16. Офсетная печать.
Печ. л. 0, 81. Уч.- изд. л. 1,25. Тираж 80. Заказ 35. Индекс 3649.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

П Р Е П Р И Н Т 2011-4, ИФВЭ, 2011