

1-2004-38

На правах рукописи
УДК 539.126.4 + 539.126.33

Г-73

ГОТРА
Юрий Николаевич

ИЗМЕРЕНИЕ ИНКЛЮЗИВНОГО СЕЧЕНИЯ J/ψ
ПРИ ЭНЕРГИИ 1,96 ТэВ НА УСТАНОВКЕ CDF II

Специальность: 01.04.16 — физика ядра и элементарных частиц;
01.04.01 — приборы и методы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

346.6g1

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий имени В. И. Векслера и А. М. Балдина Объединенного института ядерных исследований.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

доктор физико-математических наук,
профессор

Глаголев
Виктор Викторович

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор физико-математических наук,
профессор

Кривохижин
Василий Геннадьевич

кандидат физико-математических наук,
доцент

Аммосов
Владимир Васильевич

ВЕДУЩЕЕ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ:

Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, г. Москва

Защита диссертации состоится “_____” _____ 2004 г. в “_____” час. на заседании диссертационного совета Д.720.001.02 в Объединенном институте ядерных исследований при Лаборатории высоких энергий имени В. И. Векслера и А. М. Балдина, 141980, г. Дубна, Московская область, конференц-зал ЛВЭ ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Автореферат разослан “_____” _____ 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор

М. Ф. Лихачёв

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

С момента зарождения в начале 1970 годов, Квантовая Хромо Динамика (КХД) рассматривается в качестве фундаментальной теории сильных взаимодействий, что подкрепляется точным соответствием предсказаний константы связи взаимодействий экспериментальным данным, а также успехом теории в количественном описании наблюдаемых явлений, таких как партонная структура адронов или рождение струй и тяжелого кваркония. Однако, в свете постоянно растущих экспериментальных возможностей, проверка этой теории остается одной из важнейших задач физики элементарных частиц. Как простейшая связанная система в сильном взаимодействии с богатой внутренней структурой, тяжелый кварконий обеспечивает прекрасную возможность проверки КХД как в пертурбативном, так и в непертурбативном режимах. J/ψ мезон интересен с этой точки зрения из-за экспериментальных преимуществ, связанных с лептонной модой его распада.

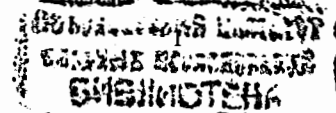
Сечение рождения тяжелого кваркония на протон-антипротонном коллайдере на 5 порядков выше по сравнению с e^+e^- В фабриками, однако оно на 3 порядка меньше полного сечения $p\bar{p}$ взаимодействия в 100 мб. Проблема большого фона может быть решена только с применением уникального **вершинного детектора** и высокоэффективной **триггерной системы**. Именно этим объясняется то, что прежде чем приступить к вопросу об изучении процессов, связанных с рождением чармония, автор проделал большую методическую работу по созданию кремниевого вершинного трекового детектора SVX II (Silicon Vertex) и изучению и оптимизации мюонного триггера установки CDF II (Collider Detector at Fermilab).

Детектор CDF II является результатом работы по всесторонней модернизации первоначального детектора CDF. С точки зрения чарм физики, наиболее важной частью проведенной модернизации является новая интегрированная трековая система и новая триггерная система. Интегрированная трековая система состоит из кремниевой системы и дрейфовой камеры COT (Central Outer Tracker).

При малых поперечных импульсах эффекты медленных глюонов и нефрагментационные эффекты от других октетных матричных элементов, которые трудно вычислить теоретически, дают существенный вклад и приводят к отличию между теоретическими предсказаниями и экспериментальными данными. Измерение сечения чармония при малых поперечных импульсах является одной из основных задач данной работы.

Цель работы

Одной из основных целей работы было создание, установка и ввод в эксплуатацию вершинного детектора CDF, SVX II. В методическую часть работы входили оптимизация, разработка процедуры и измерение эффективности работы двухмюонного триггера CDF, а также разработка и внедрение вычислительного



комплекса для анализа физических данных установки CDF II. В аналитическую часть входит изучение реакции $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ при энергии в системе центра масс 1,96 ТэВ, в особенности при малых поперечных импульсах J/ψ и определение полного и дифференциального сечения распада J/ψ .

Научная новизна работы

1. Впервые был разработан и создан физический проект уникального вершинного детектора для протон - антипротонного коллайдера, работающего при энергии в системе центра масс 1,96 ТэВ, способный функционировать при мгновенной светимости $2 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$, вплоть до интеграла светимости 4 – 8 фб и имеющий более 700 тысяч каналов.
2. Был разработан и внедрён новый триггер, позволяющий многократно увеличить выход чармония и В мезонов. Была проведена оптимизация и измерение эффективности димюонного триггера установки CDF. Был предложен и внедрен в систему анализа экспериментальных данных установки CDF II алгоритм, моделирующий работу триггера.
3. Впервые измерено полное сечение реакции $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ в $p\bar{p}$ столкновениях при энергии 1,96 ТэВ.
4. Измерено дифференциальное сечение реакции $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ в $p\bar{p}$ столкновениях при энергии 1,96 ТэВ. В области поперечных импульсов $J/\psi < 4 \text{ ГэВ}/c$ подобное измерение сделано впервые.

Научная и практическая ценность работы

Созданный вершинный кремниевый трековый детектор находит широкое применение в программе физических исследований, проводимой с 2001 г. по настоящее время международной коллаборацией CDF.

Созданное программное обеспечение триггера позволяет изменять параметры триггера, контролировать его работу в ходе набора статистики, обрабатывать информацию, выдаваемую триггером в режиме оффлайн, а также проводить моделирование отклика двухмюонного триггера и измерение эффективности его работы с помощью общей программы моделирования детектора CDF. Оно может быть использовано и в других аналогичных системах.

Измерение сечения $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ в $p\bar{p}$ столкновениях при энергии 1,96 ТэВ дает ценную экспериментальную информацию для дальнейшего развития понимания динамики рождения чармония при высоких энергиях, как с точки зрения модели НеРелятивистской Квантовой Хромо Динамики (НР КХД), так и феноменологических подходов, позволяет провести нормировку теории и сравнение с результатами других экспериментов путём вычисления универсальных матричных элементов. Исследования процессов распада чармония внесли ясность в поведение сечения при малых поперечных импульсах J/ψ .

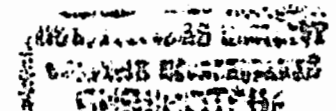
На защиту выносятся:

Результаты экспериментальных исследований по созданию вершинного детектора, оптимизации и исследованию характеристик мюонного триггера и измерению инклюзивного сечения J/ψ в $p\bar{p}$ взаимодействиях при энергии 1,96 ТэВ.

1. Физический проект по созданию кремниевого вершинного трекового детектора установки CDF II, на настоящий момент — самого крупного и совершенного в физике частиц.
2. Результаты работы по оптимизации частоты срабатывания двухмюонного триггера первого уровня установки CDF II, позволившей уменьшить частоту срабатывания в 3,5 раза и обеспечить набор данных при проектной светимости. Разработка алгоритма моделирования работы двухмюонного триггера. Измерение эффективности одномюонного и двухмюонного триггера.
3. Измерение полного инклюзивного сечения реакции $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ в $p\bar{p}$ столкновениях при энергии 1,96 ТэВ. На настоящий момент это единственное измерение инклюзивного сечения J/ψ на адронном коллайдере в центральной области до значений $p_T = 0 \text{ ГэВ}/c$. Исследование поведения дифференциального сечения рождения J/ψ по поперечным импульсам.

Апробация работы

Работы, положенные в основу диссертации, докладывались и обсуждались на научных и методических семинарах Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) и в Национальной ускорительной лаборатории имени Ферми (г.Батавия, США), с которой у ОИЯИ подписан договор о научно-техническом сотрудничестве, а также публиковались в ведущих научных периодических изданиях и материалах многочисленных международных симпозиумов, среди которых: International Symposium Electronic Instrumentation In Physics, проходивший в Дубне в 1991 г.; IEEE Nuclear Science Symposium, Nov. 2-9, 1991, Santa Fe, New Mexico, USA; International Symposium on Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors, Hiroshima, May 22-24, 1993; IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, November 2-6, 1993, San Francisco, California; IEEE Nuclear Science Symposium, Lyon, France, October 15-20, 2000; 10th International Workshop on Vertex Detectors (Vertex 2001), Brunnen, Switzerland, 23-28 Sep 2001; 8th International Conference on Advanced Technology and Particle Physics (ICATPP 2003): Astroparticle, Particle, Space Physics, Detectors and Medical Physics Applications, Como, Italy, 6-10 Oct 2003; 9th International Conference on B Physics at Hadron Machines (Beauty 2003), Pittsburgh, PA, October 14-18, 2003; International Europhysics Conference on High-Energy Physics (HEP 2003), Aachen, Germany, July 17-23, 2003; 4th International Symposium on LHC Physics and Detectors (LHC 2003), Batavia, IL, May 1-3, 2003; 38th Rencontres



de Moriond on QCD and High-Energy Hadronic Interactions, Les Arcs, Savoie, France, March 22-29, 2003; 17th Les Rencontres de Physique de la Vallée D'Aoste: Results and Perspectives in Particle Physics, La Thuile, Aosta Valley, Italy, March 9-15, 2003; международное совещание Американского Физического Общества, Отделения Частиц и Полей (APS/DPF 2003), проходившее в Филадельфии, США; международная конференция по неупругому рассеянию (DIS 2003) в С.Петербурге; международное совещание по тяжёлому кварконию (QWG 2003) в Батавии, США. Кроме того, готовится большая публикация "Measurement of the J/ψ Meson and b Quark Production Cross Sections in p-pbar Collisions at $\sqrt{s} = 1960$ GeV" в журнале „Phys. Rev. D“ в мае 2004 года.

Структура и объём диссертации: диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы из 179 наименований. Общий объём диссертации 198 страниц машинописного текста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается краткий обзор теоретической и экспериментальной ситуации по измерению сечения чармония при высоких энергиях и изучению распада $J/\psi \rightarrow \mu\mu$. Сформулированы основные задачи работы, описана структура и содержание диссертации.

В первой главе дан краткий обзор инклюзивного рождения чармония.

Во второй главе дано описание ускорительного комплекса Тэватрона и детектора CDF, а также приводится общее описание триггерной системы детектора и системы анализа физических данных CDF, CAF (Computer Analysis Farm), в создание которой автор внес определяющий вклад.

Тэватрон является циклическим ускорителем с радиусом около 1 км, в котором происходят столкновения протонов и антипротонов, ускоренных в противоположных направлениях до энергии в системе центра масс 1,96 ТэВ. Пучки протонов и антипротонов проходят 5 стадий ускорения: Кокрофт-Волтон, линейный ускоритель LINAC, Бустер, Основной Инжектор и Тэватрон.

CDF II — это универсальный детектор, позволяющий регистрировать и измерять с высокой точностью параметры как заряженных частиц, так и фотонов. Координаты, углы вылета и импульсы заряженных частиц измеряются координатной системой детектора, состоящей из кремниевого вершинного детектора и дрейфовой камеры, расположенных в магнитном поле, создаваемом сверхпроводящим соленоидом. Электромагнитный и адронный калориметры обеспечивают измерение энергий и углов адронов, электронов и фотонов, а так же позволяют разделять электроны и адроны. Мюонная система, с центральным мюонным детектором CMU (Central Muon), служит для регистрации мюонов.

Триггер играет важную роль в экспериментах на адронных коллайдерах. Так как частота столкновений значительно превышает скорость записи событий, необходимо обеспечить быстрый отбор интересных событий. В Сеансе II при проектной светимости частота столкновений около 7,6 МГц, а ско-

рость записи — менее 75 Гц. Задача триггера — эффективно отобрать интересные события среди большого числа упругих столкновений. Триггерная система на CDF имеет 3 уровня, каждый из которых обеспечивает достаточное снижение частоты срабатываний, чтобы позволить обработку событий на следующем уровне с минимальным мертвым временем.

Система анализа данных CDF (CAF) построена на основе большой (более 1000 процессоров, вычислительной фермы, состоящей из компьютеров с операционной системой Линукс, имеющей доступ к системе сбора и обработки данных и обеспечивающей обработку пакетных заданий анализа. Система позволяет запуск удалённых задач, контроль и наблюдение за их выполнением.

В третьей главе дано описание работы по созданию кремниевого вершинного детектора SVX II для установки CDF II. Подробно описаны элементы детектора, в создание которых автор внес определяющий вклад: микростриповые кремниевые детекторы частиц и электроника считывания кремниевых детекторов (микросхема SVX3 и Компактная Порткарта (ПК)).

В 1991 году в результате исследовательской работы в Лаборатории Высоких Энергий Объединённого Института Высоких Энергий в сотрудничестве с предприятиями микроэлектроники Москвы и Зеленограда были созданы и изучены образцы микростриповых детекторов, разработаны и испытаны новые высокопродуктивные технологии производства детекторов, позволяющие изготавливать как односторонние, так и двусторонние детекторы, обладающие хорошими эксплуатационными характеристиками. В дальнейшем работа по созданию микростриповых детекторов для установки CDF была продолжена в сотрудничестве с Национальным Институтом Ядерных Исследований (INFN) в г. Падуа, Италия.

В Сеансе I были использованы так называемые FOXFET (Field Oxide Field Effect Transistor) детекторы, в которых подача напряжения питания осуществлялась при помощи FET транзистора с затвором и стоком, общими для всех стрипов. Такая схема подключения оказалась подвержена негативному влиянию радиации, свойственному всем МОП (Металл Окисел Полупроводник) приборам, приводящему к нестабильности в работе и ухудшению характеристик. Для более полной характеристики радиационной стойкости радиационные эффекты в FOXFET детекторах изучались с применением различных источников излучения: протонов, нейтронов и гамма квантов. Пороговое напряжение FET оказалось сильно зависящим от радиационных повреждений и были выявлены эффекты короткого замыкания, вызванные низким легированием кремниевой подложки детекторов. Изучено влияние накопления положительных зарядов в окисле затвора FET, инверсия типа кремния и образования поверхностных зарядов в области затвора на характеристики транзистора.

В результате проведённых обширных исследований были выработаны рекомендации по замене метода питания микростриповых детекторов на резистивный и проведены испытания новых партий двусторонних детекторов для SVX II. Были разработаны и испытаны двусторонние микростриповые детекторы на основе новой технологии с использованием 6 дюймовых кремниевых

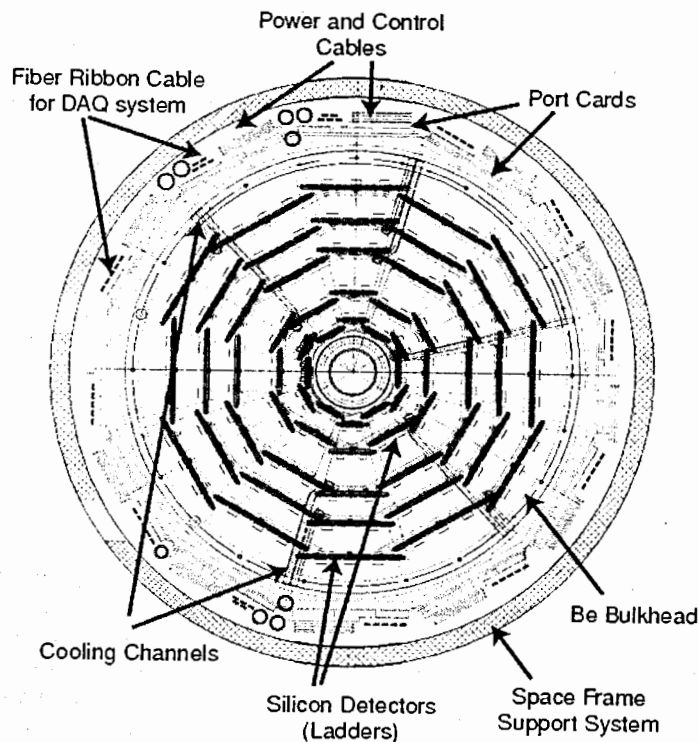


Рис. 1: Вид сбоку на бочку кремниевого детектора SVX II

пластин, что позволило существенно снизить затраты на их производство. Эти детекторы были изготовлены на предприятии "Micron Semiconductors" в Англии и были использованы во втором и четвёртом слое SVX II.

Вершинный кремниевый детектор (SVX II), расположенный на радиусе 1,6 см, состоит из трех бочек, каждая длиной 29 см (Рис. 1). Все вместе они покрывают 45 см вдоль оси z по каждую сторону от точки взаимодействия. Каждая бочка разделена на 12 сегментов по ϕ , каждый сегмент включает 5 слоев двусторонних кремниевых микрополосковых детекторов между радиусами 2,7 и 10,7 см от линии пучка, покрывая область $-2 < |\eta| < 2$. Три слоя соединяют измерение в плоскости $r - \phi$ на стороне, обращенной к трубопроводу пучка, со стерео измерениями под углом 90° на обратной стороне детектора. Остальные два слоя соединяют измерение в плоскости $r - \phi$ на одной стороне с измерениями под малым стерео углом в $1,2^\circ$ на обратной стороне. Детектор показал отличные характеристики. Отношение сигнала к шуму — более 10:1. Эффективность сбора заряда более 99%. Разрешение кремниевого вершинного трекера по прицельному параметру составляет 35 мкм.

Вершинный детектор считывается унифицированной системой сбора дан-

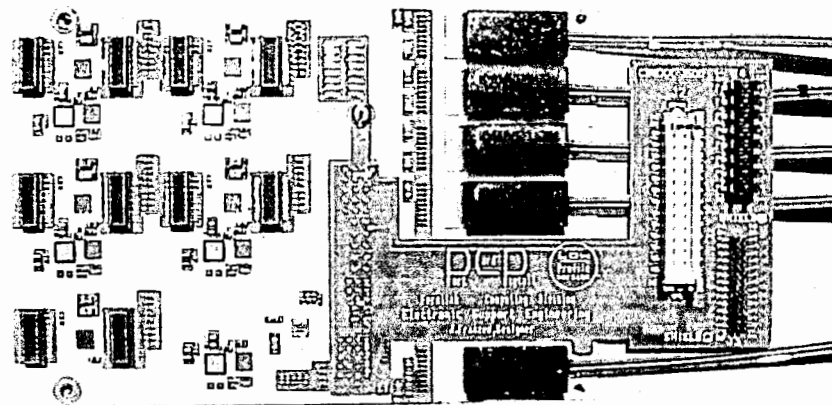


Рис. 2: Собранная порткарта

ных. Сигнал с выхода микроstriповых детекторов поступает на вход микросхемы SVX3, специально разработанной для данного проекта. Она имеет 128 каналов и буфер из 46 конденсаторов, позволяющий набор данных в так называемом режиме без мёртвого времени, в котором происходит одновременное интегрирование заряда на одном конденсаторе и считывание с другого. Микросхема SVX3D также обладает такими свойствами, как подавление наводок на сигнал, способность считывать только стрипы, на которых сигнал выше установленного порогового значения (спарсификация) и прочими, позволяющими оптимизировать сбор данных. Всего детектор содержит 5600 микросхем SVX3. Микросхема была испытана на радиационную стойкость на пучке протонов и прошла всесторонние испытания эксплуатационных характеристик.

Порткарта (ПК) представляет собой многокомпонентный модуль, выполненный на подложке из оксида бериллия, монтируемый сразу за наружным слоем детектора SVX II. Он соединён с микросхемами SVX3 с помощью соединительных линий повышенной плотности HDI (High Density Interconnect). Основными функциями ПК являются управление, конфигурация и считывание микросхем SVX3, а также стабилизация аналоговых источников питания.

Местоположение и задачи, возложенные на порткарты, налагают жёсткие требования на их конструкцию: малые масса и размер, высокая радиационная стойкость (порткарта расположена на расстоянии 14 см от оси пучка), надёжность (выход из строя одной ПК ведёт к потере целого сегмента SVX II), способность хорошо отводить тепло, удалённое управление и передача данных на большие расстояния, низкий шум на линиях стабилизируемого напряжения и обеспечение надёжного заземления различных компонент детектора.

На Рис. 2 показана фотография собранной порткарты. Микросхемы SVX3 считывают информацию с кремниевых детекторов и передают её на ПК по плоскому кабелю HDI. ПК преобразует электрические сигналы в оптические посредством высокоплотных модулей оптического преобразования DOIM (Dense

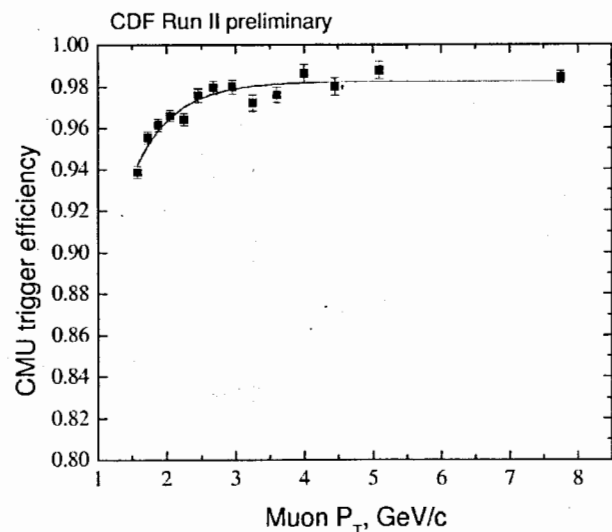


Рис. 3: Эффективность CMU триггера в зависимости от p_T мюона

Optical Interface Module) и передаёт их на модуль FIB (Fiber Interface Board) по линиям волоконной оптики. ПК были проверены на радиационную стойкость путём облучения до дозы 200 крад. Порткарты после облучения продолжали быть полностью работоспособными. Облучённые ПК использовались для измерения долговременной надёжности и показали хорошие результаты.

В четвертой главе приводится описание двухмюонного триггера и работы по его оптимизации и измерению эффективности. При измерении сечения были использованы события, полученные мюонным CMU-CMU триггером первого уровня L1, который ищет двухмюонные пары во всех пересечениях пучков. Этот триггер требует нахождения триггером L1 двух CMU мюонов, каждый с импульсом $p_T > 1,5$ ГэВ/с. Восстановление L1 мюонов включает восстановление COT трека и прототипа CMU мюона. Все параметры триггера были подвергнуты изучению и был разработан план оптимизации. Набор оптимизированных параметров позволил уменьшить вероятность согласования треков с шумовыми прототипами мюонов и тем самым уменьшить фон на уровне L1. В результате проведенной работы по оптимизации частота CMU-CMU триггера L1 снизилась с 2500 нб до 700 нб, сохраняя более 91% сигнала J/ψ .

Измерения эффективности мюонного триггера в Сеансе II с использованием событий J/ψ показали, что она высока и близка к проектной. Зависимость эффективности CMU триггера от p_T мюона показана на Рис. 3. Чтобы учесть p_T зависимость и корреляции между p_T распределениями димюона, для вычисления эффективности J/ψ триггера был применён метод взвешивания событий.

В пятой главе описываются характеристики экспериментального набора дан-

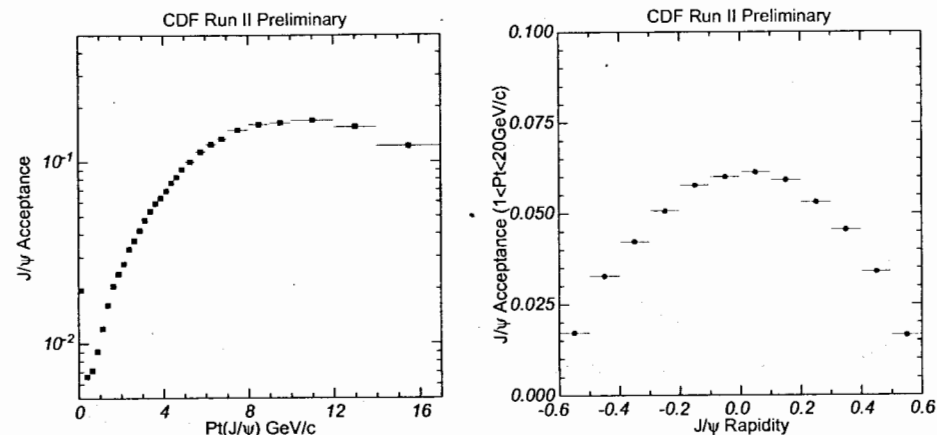


Рис. 4: J/ψ акцептанс как функция восстановленного поперечного импульса $p_T(J/\psi)$ и быстроты $y(J/\psi)$

ных и приводится описание процедуры определения светимости. Экспериментальные данные распада $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, используемые в настоящей работе, были собраны с использованием двухмюонного CMU-CMU триггера. Анализ экспериментальных данных, проведенный в данной работе, основан на статистике, набранной детектором CDF при энергии 1,96 ТэВ с февраля по октябрь 2002 г. Серии событий были исследованы автономно чтобы исключить события с проблемами в мюонной системе, триггере, COT и системе измерения светимости. Окончательный набор данных соответствует полной светимости $39,0 \pm 2,3$ пб $^{-1}$.

Основной вклад в систематическую погрешность измерения светимости дают неопределенности в измерении неупругого $p\bar{p}$ сечения ($\sim 3\%$), акцептанса Черенковских Счётчиков Светимости ($\sim 2\%$), и его нелинейности ($\leq 2\%$). Полная систематическая погрешность $\leq 5\%$.

Шестая глава посвящена изучению акцептанса. Только часть J/ψ частиц, образованных в $p\bar{p}$ столкновениях, восстанавливаются установкой CDF из-за геометрии детектора, ограниченного кинематического акцептанса и из-за неэффективности триггера и реконструкции событий. Чтобы правильно промоделировать акцептанс CMU детектора, надо точно смоделировать сферу действия детектора, выявить и промоделировать действующие элементы детектора с известными аппаратными проблемами или низкими эффективностями.

Графики зависимости акцептанса от восстановленного поперечного импульса $p_T(J/\psi)$ и быстроты $y(J/\psi)$ представлены на Рис. 4.

Седьмая глава посвящена измерению инклюзивного сечения J/ψ . Автор внес определяющий вклад в разработку критериев отбора событий, создание и под-

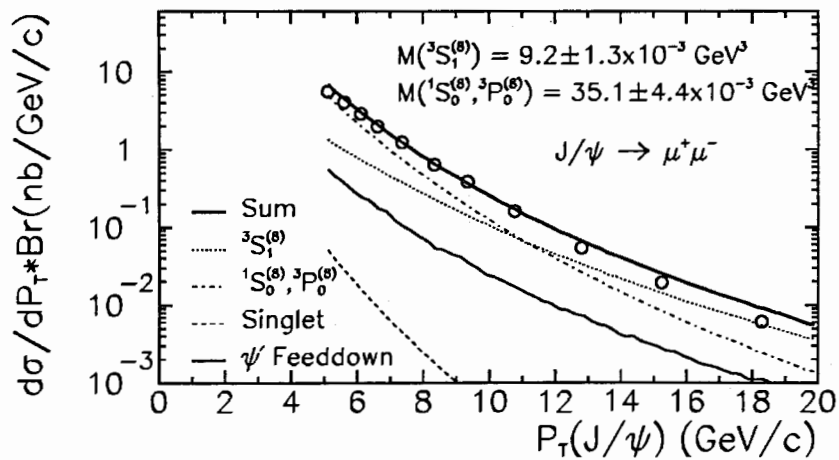


Рис. 5: Сечение прямого образования J/ψ , измеренное на CDF в Сеансе I. Сплошная черная линия — результат фитирования с помощью НР КХД факторизации. Показан также вклад различных составляющих этого фитирования

держание набора данных, измерение эффективности триггера, акцептанса, интегральной светимости и выхода J/ψ событий для интервалов по поперечному импульсу. Как показано на Рисунке 5, данные CDF по рождению J/ψ более чем на порядок выше предсказаний цвето-синглетной модели. Более того, форма кривой также расходится с экспериментальными данными. Однако, можно добиться удовлетворительного фитирования данных с помощью НР КХД факторизации путём настройки цвето-октетных матричных элементов.

Дифференциальные сечения для обоих сеансов наложены на Рис. 6. Можно сделать вывод о хорошем соответствии, в пределах статистической неопределенности, распределения дифференциального сечения J/ψ по поперечному импульсу, измеренного на основании данных, полученных в Сеансе II при энергии 1,96 ТэВ, результатам, полученным в Сеансе I при энергии 1,8 ТэВ. Набор данных, рассмотренный в данной работе, достаточно велик, так как статистические неопределенности гораздо меньше систематических погрешностей измерения.

В заключении приведены основные результаты работы:

1. Был разработан и создан кремниевый вершинный трековый детектор установки CDF II, являющийся на настоящий момент самым крупным и совершенным кремниевым вершинным трековым детектором в физике частиц. Кремниевая трековая система насчитывает более 700 тысяч каналов, объединенных в 704 модуля, 8 слоев детекторов с охватом области псевдобыстроты до $|\eta| < 2$ и имеет возможность вести трехмерное восста-

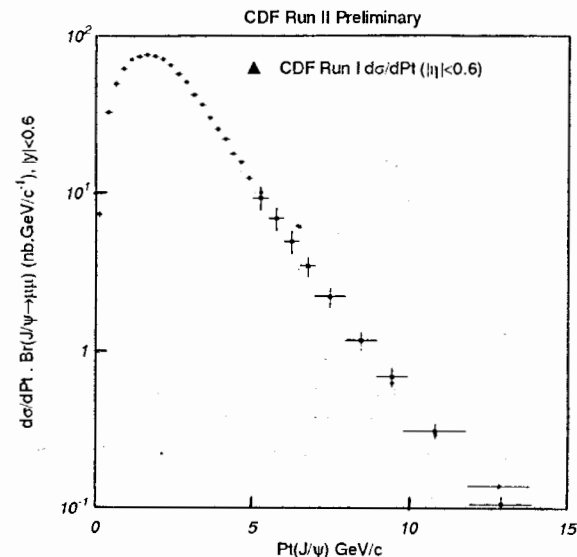


Рис. 6: Инклюзивное сечение J/ψ как функция J/ψ p_T . ● — дифференциальное сечение с комбинированными статистическими и систематическими ошибками. ▲ — дифференциальное сечение, измеренное на CDF в Сеансе I

новление треков заряженных частиц за счет применения двусторонних детекторов.

- С целью изучения пригодности были всесторонне изучены кремниевые детекторы с питанием посредством FOXFET (Field Oxide Field Effect Transistor). Проведены исследования механизмов радиационных повреждений в детекторе с применением различных источников излучения (протоны, нейтроны и гамма-кванты). Изучено влияние накопления положительных зарядов в окисле затвора FET, инверсия типа кремния и образования поверхностных зарядов в области затвора на характеристики транзистора. Выработаны рекомендации для коллаборации CDF по замене метода питания микроstriповых детекторов на резистивный и проведены испытания новых партий двусторонних детекторов для SVX II. Были созданы двусторонние микрополосковые кремниевые детекторы на основе новой шестидюймовой технологии, используемые на уровнях 2 и 4 вершинного трекового детектора CDF II, SVX II. Были проведены глубокие и всесторонние испытания кремниевых детекторов SVX II, в частности, исследование электрофизических параметров, проверка радиационной стойкости и анализ треков, восстановленных с помощью 5 слоев детекторов на пучке протонов.

- Разработана многоканальная микросхема считывания и оцифровки данных от микрополосковых детекторов SVX3 и проведена проверка её эксплуатационных характеристик и радиационной надежности. Микросхема содержит 128 каналов низкошумящих ($ENC = 700e + 53e/\text{пФ}$) усилителей и схему оцифровки; она способна работать при частоте пересечения пучков до 132 нс, обладает способностью одновременного набора и считывания данных, спарсификации и имеет систему подавления наводок.
 - Разработан ключевой компонент системы считывания кремниевых детекторов, Компактная Порткарта, предназначенная для управления и считывания (посредством волоконной оптической связи) микросхем SVX3. Проведены детальные испытания, включая радиационную стойкость путем облучения дозами протонов до 400 крад. Наложено производство и сборка порткарт. Выработан план детальной проверки качества произведенных порткарт, спроектирован и осуществлен тестовый стенд по выжиганию дефектов, проведена успешная и своевременная поставка и установка 115 сертифицированных порткарт.
 - Проведена успешная установка и ввод в эксплуатацию детектора SVX II. Детектор показал отличные эксплуатационные качества, в частности, разрешение на прицельный параметр составило 35 мкм, внутреннее разрешение детекторов — 9 мкм, отношение сигнала к шуму > 10 , а эффективность одиночных срабатываний порядка 99%.
2. Проведена работа по оптимизации частоты срабатывания двухмюонного триггера первого уровня установки CDF II, позволившая уменьшить частоту срабатывания в 3,5 раза, что обеспечило возможность набора данных при проектной светимости. Предложена процедура и создан комплекс программ для моделирования работы двухмюонного триггера, включенные в пакет программ моделирования детектора CDFSIM и пакет программ анализа физических данных CDFSOFIT. Проведено измерение эффективности одномюонного и двухмюонного триггера, обеспечившее выполнение экспериментальных работ с использованием данного триггера международной коллаборацией CDF. Показано, что как одномюонный, так и двухмюонный триггер имеют высокую эффективность при малых поперечных импульсах J/ψ , что позволило снизить порог триггера и произвести набор данных, обеспечивший ряд важных измерений в области В физики, таких как измерение сечения b кварка и B мезона.
 3. Был спроектирован и введен в эксплуатацию вычислительный комплекс для анализа физических данных установки CDF II. В настоящее время комплекс состоит из более чем 1000 микропроцессоров и 100 Тэрабайт накопителей, позволяющих вести параллельную обработку огромного набора физических данных с установки CDF II. Обработка заданий пользователя комплекса проводится в пакетном режиме, система имеет гибкий

интерфейс, позволяющий удаленный запуск, мониторингирование прохождения заданий и администрирование системы из любого исследовательского центра посредством интернет.

4. Впервые получено практически значимое экспериментальное значение полного инклюзивного сечения реакции $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ в $p\bar{p}$ столкновениях при энергии 1,96 ТэВ. До настоящего времени теория неспособна дать предсказаний по значению этого сечения. На настоящий момент это единственное измерение инклюзивного сечения J/ψ в центральной области до $p_T = 0$ ГэВ/с на адронном коллайдере.

$$\sigma(J/\psi) \equiv \sigma(p\bar{p} \rightarrow J/\psi X, p_T(J/\psi), |y(J/\psi)| < 0,6) = 240 \pm 1 \text{ (стат)}_{-28}^{+35} \text{ (сист)} \text{ нб}$$

5. Впервые получено практически значимое распределение дифференциального сечения реакции $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ в $p\bar{p}$ столкновениях при энергии 1,96 ТэВ. В области поперечных импульсов $J/\psi < 4$ ГэВ/с подобное измерение сделано впервые. Выполнено сравнение с результатами, полученными на установке CDF в Сеансе I при энергии 1,8 ТэВ. Результаты по измеренному сечению рождения тяжелого кваркония имеют большое значение для тщательной и более полной проверки предсказаний механизма теории Нерелятивистской Квантовой Хромодинамики и позволяют вычислить матричные элементы, являющиеся нормировкой данной теории. Исследования процессов распада чармония внесли ясность в поведение сечения при малых поперечных импульсах J/ψ , где дают существенный вклад эффекты медленных глюонов и нефрагментационные эффекты от других октетных матричных элементов, которые трудно вычислить теоретически.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Y. Gotra *et al.*, Development Of Microstrip Detectors At Jinnr, Proceedings Of The International Symposium Electronic Instrumentation In Physics, Dubna, 1991, pp 41-43.
2. Y. Gotra *et al.*, Characteristics Of An Experimental Batch Of Microstrip Detectors, Nucl. Instrum. Methods **A311** (1992) pp 296-300.
3. Y. Gotra *et al.*, Punch-Through Characteristics Of Foxfet Biased Detectors, IEEE Trans. Nucl. Sci. **40** (1993) No. 4, pp 804-810.
4. Y. Gotra *et al.*, Degradation Of Si Ac-Coupled Microstrip Detectors Induced By Radiation, IEEE Trans. Nucl. Sci. **40** (1993) No. 6, pp 2001-2007.
5. Y. Gotra *et al.*, Foxfet Biased Microstrip Detectors: An Investigation Of Radiation Sensitivity, Nucl. Instrum. Methods **A342** (1994) pp 39-48.
6. F. Abe, G. Bolla, ..., Y. Gotra *et al.*, The CDF SVX II Upgrade: Silicon Sensors Performances. Nucl. Instrum. Meth. **A409** (1998) pp 112-116.

7. F. Abe, . . . , Y. Gotra *et al.*, The CDF Silicon Detector Upgrade. Nucl. Instrum. Meth. **A419** (1998) pp 532-537.
8. D. Acosta, R. Rossin, . . . , Y. Gotra *et al.*, Operational Experience and Performance of the CDFII Silicon Detector, Fermilab Preprint, FERMILAB-CONF-03/412-E. Proceedings 6th International Conference on Large Scale Applications and Radiation Hardness of Semiconductor Detectors, Florence, Italy, September 29-October 1, 2003. 10pp.
9. J. Andresen, . . . , Y. Gotra *et al.*, The port card for the silicon vertex detector upgrade of the CDF, IEEE Trans. Nucl. Sci. **48** (2001) pp 504-508.
10. M. Bishai, Y. Gotra *et al.*, Measurement of the Inclusive J/ψ Production Cross-Section at the Tevatron Run II, APS/DPF 2003 Conference, April 5-8, 2003 Philadelphia, Pennsylvania, USA. 3pp.
11. D. Acosta, A. Meyer, . . . , Y. Gotra *et al.*, New Charmonium results from CDF and Heavy Flavor Results from CDF Run II, Bottom and Top Physics, Fermilab Preprint, FERMILAB-CONF-03/283-E. Proceedings 11th International Workshop on Deep Inelastic Scattering (DIS 2003), St. Petersburg, Russia, April 23-27, 2003. 6pp.
12. F. Abe, . . . , Y. Gotra *et al.*, J/ψ and $\psi(2S)$ production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV, Phys.Rev.Lett. **79** (1997) pp 572-583.
13. D. Acosta, . . . , Y. Gotra *et al.*, Quarkonia Production at CDF in Run II. 2nd International Workshop on Heavy Quarkonium, Fermilab, Batavia, IL, USA, September 20-22, 2003. 3pp.
14. D. Acosta, . . . , Y. Gotra *et al.*, Heavy Flavor Production at the Tevatron, Fermilab Preprint, FERMILAB-CONF-04/024-E. Proceedings 9th International Conference on B Physics at Hadron Machines (Beauty 2003), Pittsburgh, PA, October 14-18, 2003. 5pp.
15. D. Acosta, . . . , Y. Gotra *et al.*, Measurement of the Inclusive J/ψ Production Cross-Section at the Tevatron Run II, APS/DPF 2003 Conference, American Physical Society, Division of Particles and Fields, National Science Foundation, Philadelphia, PA, USA, April 5-8, 2003. 3pp.
16. D. Acosta, . . . , Y. Gotra *et al.*, B and C Quark Production at CDF, $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Fermilab Preprint, FERMILAB-CONF-03/350-E. Proceedings International Europhysics Conference on High-Energy Physics (HEP 2003), Aachen, Germany, July 17-23, 2003. 3pp.
17. D. Acosta, . . . , Y. Gotra *et al.*, Charm Physics at the Tevatron, Fermilab Preprint, FERMILAB-CONF-03/349-E. Proceedings 38th Rencontres de Moriond on QCD and High-Energy Hadronic Interactions, Les Arcs, Savoie, France, March 22-29, 2003. 4pp.