

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный
научный центр Российской Федерации - Институт физики высоких энергий»
Национального Исследовательского Центра «Курчатовский институт»
(ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский институт»)

22 декабря 2016 г.

Заседание Диссертационного совета
Д 201.004.01 при Институте физики
высоких энергий (Протвино)
Протокол № 2016-6_1

**Стенограмма заседания диссертационного совета Д 201.004.01
от 22 декабря 2016 года**

Защита диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Кутовым Андреем Яковлевичем на тему: “Измерение топологических сечений в pp-взаимодействиях в области большой множественности заряженных частиц при 50 ГэВ на установке СВД-2”

Специальность 01.04.23 – физика высоких энергий

Председательствующий: председатель Диссертационного совета Д201.004.01 д.ф.-м.н., профессор, Тюрин Николай Евгеньевич.

Секретарь: ученый секретарь Диссертационного совета Д201.004.01 кандидат физико-математических наук Рябов Юрий Григорьевич.

Всего членов совета: 22 человека

Присутствует: 18 человек.

На заседании присутствовали следующие члены Диссертационного совета Д201.004.01:

1. Тюрин Н.Е. , доктор ф.-м. н., 01.04.02 – председатель;
2. Рябов Ю.Г., к. ф.-м. н. 01.04.23 – ученый секретарь;
3. Зайцев А.М. доктор ф.-м. н., 01.04.23;
4. Арбузов Б.А. доктор ф.-м. н., 01.04.02;
5. Герштейн С.С. доктор ф.-м. н., 01.04.02;
6. Денисов С.П. доктор ф.-м. н., 01.04.23;
7. Зайцев Ю.М. доктор ф.-м. н., 01.04.23;
8. Иванов С.В. доктор ф.-м. н., 01.04.20;
9. Качанов В.А. доктор ф.-м. н., 01.04.23;
10. Мочалов В.В. . доктор ф.-м. н., 01.04.23;
11. Образцов В.Ф. доктор ф.-м. н., 01.04.23;
12. Петрухин А.А. доктор ф.-м. н., 01.04.23;
13. Саврин В.И. доктор ф.-м. н., 01.04.02;
14. Селезнев В.С. доктор ф.-м. н., 01.04.20
15. Сенько В.А. доктор ф.-м. н., 01.04.20;
16. Ткаченко Л.М. доктор ф.-м. н., 01.04.20;
17. Трошин С.М. доктор ф.-м. н., 01.04.02;
18. Чесноков Ю.А. . доктор ф.-м. н., 01.04.20;

Диссертационный совет Д201.00.01 утвержден приказом по Федеральной службе по надзору в сфере образования и науки N 105/нк от 11 апреля 2002 года в составе 22-х человек.

На заседании присутствуют 18 членов совета, из них 7 докторов по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий, кворум имеется.

На заседании присутствуют официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор Смирнова Лидия Николаевна, кандидат физико-математических наук Феофилов Григорий Александрович.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е.: переходим к нашему основному вопросу – защита кандидатской диссертации Кутовым Андреем Яковлевичем по специальности “физика высоких энергий” на тему “Измерение топологических сечений в pp-взаимодействиях в области большой множественности заряженных частиц при 50 ГэВ на установке СВД-2”.

Ученый секретарь Диссертационного совета Рябов Ю.Г. представляет документы, характеризующие соискателя:

Соискатель – Кутов Андрей Яковлевич 1964 года рождения. В 1991 году окончил Московский инженерно-физический институт, факультет экспериментальной и теоретической физики, кафедру экспериментальной ядерной физики. С 1991 г. по 2006 г. работал в должности стажера-исследователя, младшего научного сотрудника, научного сотрудника в Лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований. С 2006 г. работает научным сотрудником Отдела математики Коми научного центра Уральского Отделения РАН.

Диссертация выполнена в Отделе экспериментальной физики Института физики высоких энергий.

Научные руководители:

- доктор физико-математических наук, начальник Научно-экспериментального отдела № 3 физики легких кварков и лептонов Лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований Кокоулина Елена Сергеевна;

- кандидат физико-математических наук, начальник сектора № 1 Серпуховского научно-экспериментального отделения Лаборатории физики высоких энергий Объединенного института ядерных исследований - Петухов Юрий Петрович.

Предзащита диссертации прошла на семинаре Отдела экспериментальной физики ИФВЭ, на котором диссертация рекомендовалась к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Диссертационная работа принята к защите 13 октября 2016 года. (Протокол №5-2016).

Совет утвердил официальными оппонентами:

Смирнову Лидию Николаевну, доктора физико-математических наук, профессора кафедры общей ядерной физики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;

Феофилова Григория Александровича, кандидата физико-математических наук, доцента НИИ физики им. В.А. Фока физического факультета ФГБУ ВПО Санкт-Петербургского государственного университета, заведующего лабораторией физики сверхвысоких энергий.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (г. Москва).

У соискателя более 50 работ, в том числе по теме диссертации 21 работа, из них 11 работ, общим объемом 61 печатная страница, опубликованы в рецензируемых журналах. Все проведенные исследования, вынесенные на защиту, выполнены при определяющем участии соискателя: во всех представленных работах соискатель входил в число основных авторов, которые внесли основной вклад в исследование. В деле имеются все документы, соответствующие требованиям ВАК.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е.: К ученому секретарю есть вопросы? Нет вопросов? Тогда, Андрей Яковлевич, вам слово.

Соискатель Кутов А.Я. Уважаемые коллеги, здравствуйте. Тема моей диссертации: “Измерение топологических сечений в pp-взаимодействиях в области большой множественности заряженных частиц при 50 ГэВ на установке СВД-2”, научными руководителями которой являются д. ф.-м. наук Кокоулина Елена Сергеевна и к.ф.-м. наук Петухов Юрий Петрович. Диссертация состоит из пяти глав и заключения.

Актуальность темы исследования. Число вторичных частиц N , рожденных в результате столкновения двух начальных частиц, называется множественностью. Изучение механизма множественного рождения частиц, множественных процессов в адронных и адрон-ядерных взаимодействиях является актуальной задачей физики высоких энергий. Для описания множественных процессов используют сечения, распределения по множественности, импульсам, угловые, быстротные распределения и статистические характеристики этих распределений. Наибольшие трудности возникают при описании области большой множественности (ОБМ), так как эта область мало изучена и трудно измеряема, вследствие редкого появления таких событий. На сладе, на левом рисунке, представлены топологические сечения, измеренные на пузырьковой камере “Мирабель” при 70 ГэВ, а также предсказания Монте-Карло генератора Pythia6, теоретические предсказания феноменологических моделей кварковой (белые квадраты) и глюонной (звездочки) моделей. Pythia6 недооценивает экспериментальные значения в крайней точке множественности на два порядка, а

теоретические предсказания кварковой и глюонной моделей расходятся в своих предсказаниях с увеличением множественности. На правом рисунке показано распределение по множественности эксперимента ATLAS. На рисунке видно, что в области большой множественности предсказания генератора Pithia8, других версий генератора Pythia, и экспериментальные значения расходятся с увеличением множественности. Поэтому возникла необходимость измерить топологические сечения в ОБМ и определить подходящую модель их описания. Для решения этой цели в ОИЯИ был предложен проект “Термализация” под руководством Никитина В.А. Согласно проекту измерения множественности решено провести на установке СВД-2, на У-70. Цель диссертационной работы: измерить топологические сечения при 50 ГэВ в области большой множественности заряженных частиц для $N_{ch} > 16$. Для этого нужно было решить задачи: создать программы моделирования и реконструкции событий; провести статистический набор экспериментальных данных на установке СВД-2, на У-70; провести обработку и анализ экспериментальных данных, вычислить топологические сечения; сравнить измеренные топологические сечения с феноменологическими моделями и другими экспериментальными данными.

Результаты и положения выносимые на защиту: метод и алгоритм реконструкции событий в протон-протонных взаимодействиях в вершинном детекторе установки СВД-2; значения топологических сечений, средняя множественность, дисперсия и второй корреляционный момент распределения по множественности заряженных частиц в протон-протонных взаимодействиях на У-70 при 50 ГэВ пучке протонов.

Сведения об эксперименте СВД-2. Измерения проводились на установке – Спектрометр с Вершинным Детектором -2, которая находится на выведенном пучке ускорителя У-70 в ИФВЭ, Протвино. Установка в основном регистрировала события типа: $pp \rightarrow n^* \pi + 2N$, где $n^* \pi$ – число пионов, N – нуклон. Установка создавалась сотрудниками ИФВЭ, ОИЯИ, НИИЯФ МГУ. Название эксперимента в ИФВЭ – SERP-E-190. Название проекта в ОИЯИ – “Термализация”. Установка СВД-2 состоит из пучкового телескопа, вершинного детектора, жидководородной мишени. За вершинным детектором располагаются дрейфовые камеры, за ними располагаются пропорциональные камеры, которые располагаются внутри широкоапертурного дипольного магнита МС-7А. За магнитом располагается пороговый черенковский счетчик и электромагнитный калориметр (ДеГа).

Пучковый телескоп состоит из триггерных сцинтилляционных счетчиков С1-С4 и трекара из 6-ти плоскостей микростриповых детекторов. Три плоскости измеряют X-координату, другие три – Y- координату. За пучковым телескопом

располагается жидководородная мишень, длиной 70 мм. За мишенью располагается триггерный сцинтилляционный годоскоп, который подавляет регистрацию событий с малой множественностью и срабатывал на события с множественностью выше заданной. Триггерный годоскоп похож на “ромашку”. За триггерным годоскопом располагается вершинный детектор. Он состоит из десяти плоскостей микростриповых детекторов. Четыре плоскости измеряют X-координату, другие четыре – Y- координату. Последние две плоскости – косые, повернуты относительно оси Z на 10.5 градусов. Множественность измерялась в вершинном детекторе.

Максимальная скорость регистрации событий с большой множественностью – 200 событий в одном цикле. Интенсивность пучка – 10^6 - 10^7 1/с. Число pp-взаимодействий в водородной мишени – 10^4 1/с. Импульс протонов – 50 ГэВ/с. СВД-2 содержала шесть локальных систем: Gassiplex, Trigger, Viking, Spectro, Dega, Drift. Gassiplex и Viking относятся к вершинному детектору, Trigger – к триггерной системе, Spectro – к спектрометру, Dega – к электромагнитному калориметру, Drift – к дрейфовой системе. Данные с локальных систем записываются в файл последовательного доступа. Специальная программа раскодировывает записанный файл и подает данные на вход программы реконструкции.

Программа реконструкции состоит из двух процедур: восстановление координат пролета частицы (хитов) по номеру сработавших стрипов; поиск треков через эти хиты. В первой процедуре проводится поиск кластеров, выделение одночастичных и многочастичных кластеров, восстановление кластеров. Во второй процедуре применяется реконструкция треков прямыми линиями с двумя параметрами отдельно по проекциям, по трем или четырем точкам; для поиска и распознавания треков применяется метод фильтров Калмана (“средневзвешенный формализм”); для оценки параметров треков и вершин применяется фитирование методом наименьших квадратов; в ОБМ наблюдается большая плотность треков, для распутывания которых применяется процедура “амплитудного анализа”: два близких трека могут иметь общие первые два хита, если амплитуда сигнала больше двух минимальных ионизационных потерь на первых двух плоскостях вершинного детектора.

Точность реконструкции вершины для моделированных событий по осям X и Y – 30 мкм, по оси Z – 410-445 мкм. Точность по Z для экспериментальных событий – 480 мкм. Средняя координатная точность реконструкции треков для моделированных событий – 13-14 мкм, что близко к расчетной – 15 мкм. Для экспериментальных событий – 26-28 мкм. Точность реконструкции ухудшилась из-за ошибки элайнмента, ошибок реконструкции хитов, шумов, ложных хитов.

Эффективность распознавания треков в области $N_{ch}=2-16$ частиц составила 99%-97%, в области $N_{ch}=16-24$ частиц – 97%-92%.

Для вычисления топологических сечений проводился отбор событий и треков. Для обработки были взяты данные сеанса 2008 года. Всего зарегистрировано 5.13 млн. событий. С уровнем триггера на 8 частиц отобрано 3.85 млн. событий. Чтобы уменьшить вклад фоновых событий, минимизировать систематические неопределенности, события отбирались по критериям отбора: число пучковых треков не превышает 2 с эффективностью – 78%; полезная часть мишени с эффективностью – 81%; несовпадение реконструированной Z-координаты вершины на проекциях больше 5 мм с эффективностью – 82%. Итого для окончательного анализа оставлено 1.09 млн. событий. Треки отбирались по условию ограничения промаха от вершины меньше 1 мм.

По результатам выше перечисленного отбора событий и треков получено экспериментальное распределение по множественности на двух проекциях, представленное на слайде. На проекциях в событии, число треков обычно регистрируется разным, но в среднем (на 1 млн.) равны, как видно на рисунке и плоте зависимости числа треков на Y и X проекциях. Наиболее близкое к реальному значению множественности является максимальное значение множественности из двух проекций, представленное на слайде. Измеренные значения являются неточными вследствие потерь в процессе регистрации хитов, реконструкции треков, потерь из-за непопадания треков в акseptанс, триггерных условий. Чтобы получить реальные значения множественности, необходимо провести процедуру поправки множественности.

Для введения поправок использовались таблицы коэффициентов разброса по реконструированной множественности, где вероятность успешно реконструировать i -заряженных треков в событии с j -заряженными треками равно отношению числа реконструированных событий с i -заряженными треками на число генерированных событий с j -заряженными треками. Генерация событий проводилась методом Монте-Карло (Geant3.21) с использованием моделей Больцмана и Бозе, далее обработка программой реконструкции позволяет получить коэффициенты a_{ij} . В результате имеем переопределенную систему 24-х линейных уравнений с 12-ю неизвестными. Для уменьшения влияния триггера решения находились для множественности для $j=10, \dots, 24$, при условии положительных решений x_j . На следующем слайде представлены экспериментальные топологические сечения для pp-взаимодействий при 50 ГэВ, черные квадраты. Для сравнения приведено распределение по реконструированной множественности без поправок, черные кружки. Отмечу, что не поправленные значения могут быть четными и нечетными, а

поправленные – только четными. Из-за невозможности точно смоделировать триггерные условия выполнена привязка сечений к данным пузырьковой камеры “Мирабель”. Привязка проводилась таким образом. Бралась сумма сечений для $N_{ch}=8,10,12$ “Мирабелли” и делилась на сумму событий для таких же множественностей. Получаем коэффициент перехода от событий к сечениям. На рисунке представлены топологические сечения данных “Мирабель” и “Термализации” с $N_{ch}=10$. На слайде представлены таблицы топологических сечений, измеренных на камере “Мирабель” и на СВД-2. Также представлены уточненные значения с ошибками полного неупругого сечения, среднего значения, дисперсии и второго корреляционного момента распределения по множественности. Для $N_{ch}=10-16$ топологические сечения уточнены, а для $N_{ch}=18-24$ получены новые значения сечений.

На следующем слайде представлено сравнение измеренных данных с феноменологическими моделями. Отрицательное биномиальное распределение (NBD), при условии, что средняя множественность и дисперсия используются как параметр, завышает топологические значения в ОБМ. Модель глюонной доминантности (МГД) и кварковая модель ИФВЭ хорошо описывают ОБМ, но имеют тенденцию к занижению. Распределения по множественности должны следовать универсальному скейлингу – КНО (Коба, Нильсон, Олсон). Это означает, что число частиц n в конечном состоянии должно быть функцией только одной переменной z , равной отношению множественности к средней множественности. КНО-скейлинг сохраняется от 9 до 200 ГэВ, что позволяет сравнить наши данные ($\sqrt{s}=9.8$ ГэВ) с мировыми экспериментальными данными, например, с данными детектора SFM ускорителя ISR в Церне для энергий $\sqrt{s}=30.4, 32, 6, 44.5$ ГэВ, имеющие наиболее максимальные значения z . На рисунке видно, что новые данные хорошо согласуются с другими экспериментальными данными для $z < 3.6$ и предсказывают поведение кривой множественности до $z < 4.4$.

На следующем слайде представлено описание модели глюонной доминантности, разработанной Кокоулиной Е.С. Согласно модели процесс множественного рождения в pp-соударениях представляет собой распределение двух стадий: кварк-глюонного каскада, описываемого распределением Пуассона, и адронизации, описываемой биномиальным распределением. Здесь, представлена формула распределения как свертка двух распределений, Пуассона и биномиального, с параметрами: число вторичных глюонов и их средняя множественность, максимальное число глюонов, среднее и максимальное число вторичных адронов, которое может родиться из глюона на стадии адронизации. Для более точного описания распределения по множественности МГД была расширена с учетом глюонов деления. На слайде представлено результирующее

распределение топологических сечений, которое состоит из двух слагаемых, где второе учитывает глюоны деления. На слайде представлены параметры МГД.

Заключение. Проект “Термализация” выполнялся на установке СВД-2 на У-70 при импульсе пучка протонов 50 ГэВ. Цель – измерение топологических сечений в ОБМ, значительно превышающую среднюю. Разработан эффективный алгоритм и программное обеспечение реконструкции событий в вершинном детекторе СВД-2, в ОБМ. Точность реконструкции вершин и треков соответствует расчетной. Для обработки и анализа данных отобрано 1.09 млн. событий из статистики 2008 года с уровнем триггера 8. С помощью моделирования вычислены поправочные коэффициенты, учитывающие акцептанс ВД и эффективность процедуры обработки данных. После введения поправок получены значения экспериментальных топологических сечений. Добавлено 4 точки к ранее измеренным на камере “Мирабель” топологическим сечениям. Полученное сечение в крайней точке $N_{ch}=24$ на три порядка величины меньше чем измеренное на “Мирабель” при $N_{ch}=16$. Полное неупругое сечение рр-взаимодействий при 50 ГэВ : $\sigma=31.5 \pm 1.14$ мбн. Средняя множественность заряженных частиц: $\langle N_{ch} \rangle = 5.45 \pm 0.11$. Дисперсия и второй корреляционный момент: $D=7.20 \pm 0.20$; $f_2=1.75 \pm 0.26$. КНО-распределение для $N_{ch}=18,20$ хорошо согласуется с данными, полученными на детекторе SFM ISR CERN и предсказывает поведение кривой в области $3.6 < z < 4.4$. Подходящая модель описания – МГД.

Научная новизна в большей части уже была представлена в заключении. Дополнительно можно добавить, что впервые измерены топологические сечения в ОБМ от 16 до 24 заряженных частиц при 50 ГэВ. Практическая значимость. Новые данные позволяют описать поведение топологических сечений и понять механизм множественного рождения в ОБМ. Измерения можно использовать для совершенствования Монте-Карло моделей, описывающих ОБМ. Личный вклад автора. Автор принимал участие в экспериментальных сеансах на СВД-2. Выбрал метод и разработал алгоритм реконструкции событий. Провел моделирование, обработку и анализ экспериментальных данных, создал ленту суммарных результатов. Вычисления топологических сечений проводилось совместно с научными руководителями. Программа реконструкции написана на языке C/C++, программы моделирования (Geant3.21) на Фортране 77, программы анализа в среде ROOT.

Основные результаты опубликованы в 20 работах, из них 11 статей в рецензируемых журналах, 8 статей в материалах конференций и сборниках статей, 1 препринт. Основные публикации по теме опубликованы в журналах

“Ядерная физика”, “ЭЧАЯ”, “Бразильский физический журнал” и в других рецензируемых журналах.

На следующем слайде показано фото сотрудничества СВД-2. Спасибо за внимание!

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е.: Спасибо. Вопросы, пожалуйста, по докладу.

Член Диссертационного совета Трошин С.М.: У меня два уточняющих вопроса по сути дела. Слайд 20 можете показать? Вот - полное сечение неупругих взаимодействий. Это крайне неудачное обозначение для этого полного сечения. Полное неупругое сечение не зависит от числа заряженных частиц. Зачем писать такое обозначение?

Кутов А.Я. Сечение вычислялось для заряженной множественности.

Член Диссертационного совета Трошин С.М.: Да, для заряженной. Она фиксированная? Она не должна быть фиксированной, если вычислялось полное число взаимодействий.

Кутов А.Я.: Это полное сечение для данной заряженной множественности, неполной, не основной процент.

Член Диссертационного совета Трошин С.М.: Второй вопрос – как учитывался вклад нейтральных частиц? В эксперименте измерялись заряженные частицы, а в модели описание дано для полной множественности частиц.

Кутов А.Я. Измерения числа нейтральных частиц в эксперименте проводились. Измерения нейтральных частиц проводилось в детекторе гамма-квантов. Регистрировались не все нейтральные частицы, только часть, какой-то процент. Делалось моделирование, получали поправки. В результате было получено распределение зависимости среднего числа нейтральных пионов от множественности заряженных частиц. На слайде показаны кривая для Pythia, для “Мирабели” и для эксперимента E-190. Pythia занижает значения, а E-190, наши данные, хорошо описывают среднее число нейтральных частиц в ОБМ. В общем, как-то учитываются.

Член Диссертационного совета Герштейн С.С.: У меня несколько наивный вопрос. Как исключаются события, когда множественность возникает от двух частиц, которую вы принимаете за одну, но каждая дает какую-то множественность. Это исключается в эксперименте, но каким образом?

Кутов А.Я.: Для этого, как было сказано в докладе, число пучковых треков должно не превышать двух. Таким образом исключаются события от пучковых

треков. Но второй пучковый трек тоже может дать событие. Также, чтобы исключить треки от ложных событий, треки брались с промахом от вершины меньше, чем 1 мм, по результатам моделирования. Таких событий должно быть небольшой процент.

Член Диссертационного совета Герштейн С.С.: Просто, в пузырьковой камере “Мирабель”, на что вы ссылаетесь, там ясно, что какая-то одна частица дала множественность. В установке СВД могут быть события от не одной частицы.

Кутов А.Я: Да, когда число пучковых треков в событии больше трех, таких событий становится много.

Член Диссертационного совета Герштейн С.С.: Второй вопрос. Это при одной энергии только измерялось? Здесь интересно было бы измерить множественные события при нескольких энергиях. Дело в том из общих соображений, в свое время Логунов, рассматривая дважды инклюзивные события, показал, что если вы берете область ограниченных импульсов, даже с ростом энергии налетающей частицы, в этой области множественность растет пропорционально энергии. Фактически у вас здесь такая вещь намечается для самых низких энергий частиц, если это можно сделать при больших энергиях.

Кутов А.Я: Да, если ускоритель даст большие энергии, то можно это сделать.

Член Диссертационного совета Трошин С.М.: Были ли измерения импульсов?

Кутов А.Я: Измерения были, но данные не использовались.

Член Диссертационного совета Зайцев А.М.: На слайде 18, наверное, вместо кварк должен быть глюон. Описка? Спасибо. Вопрос у меня такой. В диссертации ни разу не были произнесены слова про систематические ошибки. В этой задаче, казалось бы, это центральный вопрос и их надо было бы ответственно изучить. А именно, когда вы говорите, что решаете уравнение с коэффициентами, которые якобы знаете, куда закладываются некие свойства детекторов, эффективности и еще что-то. Вопрос, каким образом проверена адекватность закладываемой вами модели к действительным свойствам детекторов, насколько вы его правильно описываете. И к какой систематической ошибке приводит неизбежный метод описания. А второй вопрос еще хуже. Вы видите примерно половина множественности. Более того, если посмотреть распределение множественности по одной оси и по другой, там же жуткая картина. Там при множественности 12 плюс минус пять примерно множественность. Каким образом, то что вы называете множественностью зависит уже от физической модели, которая заложена в параметризацию этого распределения? Как это все зависит? Степень этой зависимости нигде не указана. Она большая или маленькая, проверялась ли, не проверялась?

Кутов А.Я.: По первому вопросу о систематических ошибках. Систематические ошибки учтены в условии привязки. Достоверность результатов подтверждается теоретическим описанием экспериментальных данных.

Член Диссертационного совета Зайцев А.М.: Это отдельный вопрос. Если мы посмотрим на данные, где привязываются, там видно, что одно статистически значимое отклонение в одну сторону, а следующее статистически значимое – в другую сторону. Поэтому эти точки при множественности 10, 12 нельзя сказать, что они совпадают, они статистически значимо различаются.

Кутов А.Я.: Точка при 12 – это плохо измеренная точка, малая статистика.

Член Диссертационного совета Зайцев А.М.: Нет, но ошибки указаны, не цепляют их никак. Привязку вы сделали, но почему вы считаете, что привязка полностью устраняет всю систематику. Ведь разброс огромный, при множественности 15 и 12 у вас плюс минус одна ошибка. Это означает низкую эффективность.

Кутов А.Я.: Генерация событий проводилась при помощи моделей Больцмана, Бозе и Рундта с учетом всех физических процессов. События генерировались как в эксперименте. И когда мы получаем поправочные коэффициенты, они учитывают весь этот разброс количества треков.

Член Диссертационного совета Зайцев А.М.: Так что же, все модели дают одни и те же коэффициенты?

Кутов А.Я.: Нет, они дают разные коэффициенты. Разница от этих коэффициентов дает вклад в ошибку.

Член Диссертационного совета Зайцев А.М.: Значит, вот эти ошибки и статистические и систематические?

Кутов А.Я. Да, статистические и систематические.

Член Диссертационного совета Зайцев А.М.: Здесь почему-то об этом не написано.

Кутов А.Я. Да, к сожалению, не написано.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е.: Сергей Петрович у вас был вопрос, пожалуйста.

Член Диссертационного совета Денисов С.М.: Полное неупругое сечение вы приводите. Это есть разница между полным сечением и полным упругим сечением для прр. Если таким образом вычислить полное неупругое сечение, вы вычисляли, оценивали это? Сравнивали со своей величиной?

Кутов А.Я.: Нет не делали это. Но для “Мирабели” есть сравнение полного неупругого сечения с упругим.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е.: Есть еще вопросы, нет. Спасибо. Мы теперь должны заслушать мнения научных руководителей. Научных руководителей у нас два – Кокоулина Елена Сергеевна и Петухов Юрий Петрович. Слово Елене Сергеевне, пожалуйста.

Научный руководитель Кокоулина Елена Сергеевна: Я знаю Кутова А.Я., с тех пор как я попала на работу в ОИЯИ. Так сложилось, что у нас была небольшая команда тех специалистов, которые могли бы заниматься реконструкцией. И вот Андрей взял на себя эту задачу. Так случилось, что по семейным обстоятельствам он должен был уехать в Сыктывкар и нам удалось уговорить его продолжить сотрудничество с ОИЯИ. Конечно, ему было нелегко. Мы его поддерживали как могли. Он приезжал практически на все сеансы и Павел Федорович был очень рад, когда приезжал Андрей, потому что он успевал сделать предварительную обработку и показать небольшой рисунок как вела наша множественность. Конечно, время было не очень легкое, но Андрей, видимо сказалась большая школа, потому что он участвовал в экспериментах Н1 и потом уже подключился к эксперименту. У него уже был хороший базис и поэтому несмотря на какие-то неблагоприятные условия для работы он проделал большую работу. Я работала с ним в паре. В частности, мне поручили заниматься элайнментом. И надо сказать, что он, как коллега, всегда оказывал помощь безотказно, отбрасывал на некоторое время свою работу и вникал во все те вопросы, которые я ставила. Если бы не его такая самоотверженная работа мы бы не получили ни того указания на Бозе-конденсат, ни распределения по множественности. Это был его очень длинный путь, путь длинный, который ему пришлось пройти, чтобы выйти на защиту. Я благодарна вашему институту, что его поддержали. Если есть какие-то шероховатости, то наверное это и наша вина, что мы не всегда помогали ему быть в этой среде, потому что ему приходилось работать вдалеке. Но я надеюсь, что в будущем, после защиты, если она будет удачной, он продолжит сотрудничество с нашей группой и это будет большой результат. Это и в БМН и в НИКе. И как руководитель я считаю, что человек вырос до такого уровня и может даже больше, и он достоин чтобы стать кандидатом физико-математических наук.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е.: Спасибо Елена Сергеевна. Так, пожалуйста, Юрий Петрович.

Научный руководитель Петухов Юрий Петрович: Я полностью присоединяюсь к мнению Елены Сергеевны. Хотелось добавить, что условия совместной работы были затруднены, естественно, удаленностью. Но несмотря на это позволило закончить эту работу. Я бы еще хотел добавить, что в принципе

этим не ограничивалось наше сотрудничество, потому что мы также работали с вариантами восстановления импульсов треков, с привлечением данных спектрометра. Но эта работа, к сожалению, пока не закончена. Но есть надежда, что мы сможем ее продолжить. Конечно, это дает очень богатый материал. В общем я считаю, что он проявил и знания, и упорство и заслуживает степени кандидата физико-математических наук.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е.: Спасибо Юрий Петрович. Теперь мы переходим к оглашению письменных отзывов. Юрий Григорьевич, пожалуйста.

Ученый секретарь диссертационного совета Рябов Ю.Г.: Заключение организации, где выполнялась работа. Андрей Яковлевич был прикреплен к ИФВЭ. 6 июля этого года состоялся научный семинар в Отделе экспериментальной физики. Семинар отметил, что в диссертационной работе получены следующие результаты (представлены в заключении организации, где выполнялась работа).

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне при непосредственном участии соискателя. Теоретическая и экспериментальная часть представлены в диссертации в надлежащем объеме. Тематика работы полностью соответствует специальности “физика высоких энергий”. Диссертация рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – “физика высоких энергий”. На семинаре присутствовало 18 человек, среди них 6 докторов и 3 кандидата физико-математических наук, и проголосовали единогласно.

Ведущая организация, ФГБУ Физический институт Российской академии наук, дала положительное заключение по диссертации Андрея Яковлевича. Зачитывается отзыв ведущей организации (имеется в диссертационном деле). Замечание: При сравнении экспериментальных данных с феноменологическими моделями круг выбранных для сравнения моделей далек от полного. В частности, не проведено сравнение с моделями, учитывающими вклад многократных кварк-кварковых соударений, которые хорошо описывают распределения по множественности при высоких энергиях.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е.: Спасибо. Вы будете что-то отвечать по замечанию?

Кутов А.Я.: Замечание о неполном сравнении. Было проведено дополнительное описание топологических сечений отрицательным биномиальным распределением (NBD) в рамках модели независимых взаимодействий партонных пар, разработанная Дреминым И.М и Нечитайло В.А. NBD, в рамках этой модели,

хорошо описывает область большой множественности, при условии если в формуле использовать экспериментальные значения средней множественности и дисперсии. Такое описание было проведено.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е.: Понятно. Спасибо. Теперь переходим к выступлению официальных оппонентов. Слово имеет доктор физико-математических наук Смирнова Лидия Николаевна.

Официальный оппонент Смирнова Лидия Николаевна: Актуальность диссертации определяется тем, что автор диссертации вышел в область параметров относительно большой множественности, которая не измерялась ранее, хотя и с меньшей энергией. Очень богатая физика этих событий. И это сама тема диссертации и ее результаты. Вторым важным моментом это то, что она выполнена с использованием новых экспериментальных методов. Эта установка создавалась давно и использование кремниевых детекторов, методика работы с ними, программа реконструкции, проблемы дефектов рабочей установки и то, что удалось решить эти проблемы является большим успехом, достижением этой диссертации. Замечательнейшие были получены результаты с этой установки. Причем с работающим триггером. Многочастичный триггер - тоже важный интересный параметр, может даже усложняющий получение этих результатов. Это как раз мы видим проблему с нормировками, разброс значений, систематика, связанная с работой этого триггера. Но автор, к счастью, нашел возможность решить эти экспериментальные сложности. И мы видим результаты, которые заслуживают доверия. Что же хотелось сказать в качестве достоинств. Достоверность результатов не вызывает сомнения. Она обоснована современными методами детектирования, высокой статистикой накопленных событий, современными программными средствами моделирования и алгоритмом, в частности метод фильтров Калмана и расчетами, использованными при расчете создания этих алгоритмов и сравнения с различными моделями. Практическая ценность результатов в том, что позволяет провести проверку моделей непертурбативных процессов КХД для множественного образования частиц. Результаты могут быть использованы при анализе процессов, как на БАК, так и на НИКе. Достижением является создание алгоритмов реконструкции событий, анализ, совмещение результатов. Результаты мы все слышали, а в качестве замечаний я хотела бы отметить следующее. Первое замечание. В описании процесса дифракционной диссоциации налетающего протона на стр. 10 автор не ввел условия когерентности как необходимого для осуществления процесса и соответственно не привел требование малости переданного мишени импульса для его реализации. Второе замечание. При описании дрейфового трека установки не указан тип активной газовой смеси. Третье замечание - общего характера. Физическая картина процессов при больших

множественностях заряженных частиц была бы более полной при использовании в анализе данных электромагнитного колориметра, характеризующих вклад нейтральных пионов в событиях. Даже качественная оценка их присутствия позволила бы сделать вывод о возможном рождении “кентавров”, т.е. событий без нейтральных пионов, наблюдавшихся ранее в космических лучах.

Эти замечания не снижают высокого качества проведенных исследований. Личный вклад автора не вызывает сомнений. Таким образом диссертация Андрея Яковлевича Кутова является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены достоверные и научно-обоснованные результаты, использование которых вносит значительный вклад в развитие научного потенциала страны, что соответствует требованиям п. 9 “Положения о порядке присуждения ученых степеней”, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е: Спасибо Лидия Николаевна. Вам слово, пожалуйста.

Кутов А.Я.: По первому замечанию согласен. По второму замечанию. Состав газовой смеси дрейфовых камер: Аргон -70% , углекислый газ – 30 %. По третьему замечанию. Как уже ранее говорилось, измерение нейтральных частиц проводилось в детекторе гамма-квантов. В области большой полной множественности наблюдался рост числа нейтральных пионов, что указывает на Бозе-Эйнштейновский конденсат (показывается рисунок на слайде). Также наблюдались события с большим количеством заряженных частиц с малым количеством нейтральных (“кентавров”) и наоборот. Но подсчет таких событий не проводился, но в следующих измерениях постараемся учесть эти события.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е: Лидия Николаевна, вас ответ удовлетворяет?

Официальный оппонент Смирнова Лидия Николаевна: Да, вполне.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е: Так, теперь слово имеет второй официальный оппонент Григорий Александрович Феофилов из Санкт-Петербургского государственного университета, пожалуйста.

Официальный оппонент Феофилов Григорий Александрович: Спасибо за приглашение оппонировать работу, мне очень приятно. Я ознакомился с экспериментальной установкой. Очень здорово, что в России работает весьма крупный прибор. Те результаты, которые были получены, они очень актуальны. Актуальность заключается в том, что множественность , с одной стороны, такой простой параметр, и флуктуации множественности, и КНО, которые в экспериментах во всем мире, уже достаточно давно известны. В космических

лучах, в первых экспериментах, была измерена множественность, далее продолжались измерения в экспериментах на коллайдерах. В частности, интересное наблюдение – это рост среднего поперечного импульса с ростом множественности, с ростом сложности событий, в протон-протонных и протон-антипротонных взаимодействиях с выходом на энергию насыщения. При энергиях, о которых мы говорим здесь, а это десятки ГэВ в системе центра масс, эти энергии интересны тем, что здесь ожидается фазовый переход ядерной материи, который сейчас ищется в современных экспериментах на БАК. Во-вторых, протоны всегда рассматриваются как некая реперная база для анализа более сложных систем в ядерных взаимодействиях. Любопытно, что обнаружен “рич” в протон-протонных столкновениях, и обнаружены эллиптические потоки, треугольные потоки в азимутальных распределениях. Переворачивают с ног на голову всю парадигму. И поэтому протон-протонные взаимодействия сами по себе очень интересны, они важны и исследование событий с большой множественностью очень актуальны, и поэтому результаты, полученные в этой работе безусловно будут востребованы при анализе, при теоретическом анализе, ну допустим в КНО-распределении. Известно в КНО-распределении есть отклонения, а в чем причина. Еще один комментарий. Множественность это такая коварная величина. Потому что во многих моделях мы можем получить ту же самую множественность. Сильные отклонения от среднего в терминах среднего, исследование вторых моментов, безусловно несет очень интересную информацию. В сущности ожидать отклонения мы можем, например, в таких модельных случаях, как появление источников нового типа. Если в результате возникает источник, который имеет другую интенсивность, другой поперечный импульс, другой набор частиц, которые излучает, допустим это будет кварк-глюонная плазма. Это будет проявляться в жестких процессах, в отношениях жестких и мягких процессах. Одним из проявлений может быть для более высоких энергий, когда у нас есть допустим бикварковые столкновения, которые дают активную картину наложения, которые мы физически не можем определить. Вот это все охватывает актуальность. Очень приятно, что сделана экспериментальная работа в наших российских условиях. Что стоит за этими четырьмя точками, кто внимательно следит за экспериментами, это вклад и кропотливая работа, о которой я сужу по диссертации, впечатляет. Поэтому новизна состоит в том, что действительно измерены впервые на три порядка вперед, вглубь, измерение продвинулось в область редких событий. Теперь, достоверность, обоснованность результатов. Здесь, целый ряд факторов. Среди них, безусловно, те методы анализа, которые были разработаны и всесторонне применены к отбору событий и треков, к методам коррекции. Все вместе с использованием современных пакетов, все это вызывает доверие к тем результатам, которые представлены. Практическое применение, как я уже сказал,

что все современные данные, которые получены, их широкий спектр для области энергий, дополняется в данном случае при энергии \sqrt{s} , порядка десяти ГэВ. Это безусловно будет иметь значения для эксперимента НИКА.

Также практическое значения – сравнение с генератором, с моделью глюонной доминантности. Тоже очень хорошая физическая модель. В данном случае украшает работу, потому что генераторы событий, я несколько не согласен с формулировками, так как генераторы событий это некие особые вещи, которые если в них что заложено, то они выдают. Поэтому у меня одно из теоретических замечаний: говорится, что данные, полученные в эксперименте, расходятся с предсказаниями генераторов. Наоборот, генераторы, поскольку они не настроены, расходятся с данными эксперимента. В данном случае это тоже такое некое направление, которое позволяет двигаться дальше, когда мы говорили о необходимости измерения поперечного импульса. С моей точки зрения это самое интересное. Так, теперь несколько замечаний, которые возникли у меня во время чтения. Первое. Дрейфовый детектор позволяет уточнить параметры треков, найденные в вершинном детекторе, а также восстановить все другие треки, не попавшие в акцептанс вершинного детектора, и затем продолжить их в трекаре магнитного спектрометра. Вот у меня вопрос о каких других треках идет речь? Здесь желательно было бы представить, как это случилось при обработке событий, в частности при фитировании вершины взаимодействия. Второе. Формулировка в тексте: “значения множественности на разных проекциях часто не совпадают, но в среднем равны”. Хотелось бы узнать возможные причины. И здесь у меня вопрос, почему было не совместить эти две проекции, ну в принципе в работе это было сделано, но возможно это неудачная формулировка. Следующий комментарий к странице 28. “В области малых амплитуд остается незначительный пик ложных амплитуд от шумов, неустранимых вследствие вероятностной природы шумов.” Данная фраза не очень понятна. Амплитудный анализ важен для отбора событий. О чем здесь идет речь, тоже можно отнести наверное к теоретическим замечаниям. Хотелось бы получить ответ на этот вопрос. Еще один вопрос. Изложение триггерной системы и системы сбора данных в работе представлены слишком кратко в работе. И последнее. Приводится схема установки, в которой кроме вершинного детектора есть широкоапертурный магнитный спектрометр. К сожалению, ничего не говорится о возможностях измерения поперечного импульса. Хотя это не является темой работы, но с моей точки зрения, это очень интересная тема, которая представляет фундаментальный интерес. Стилистические замечания. Здесь их несколько, я не буду сейчас перечислять. Приведу в заключении, что основные результаты, полученные соискателем отражены в 11 печатных научных изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus. Вклад автора в основные результаты

диссертации являются решающими. Результаты апробированы на различных конференциях международного уровня. Актуальность подтверждается и достоверность всех научных результатов. Диссертационная работа Кутова Андрея Яковлевича полностью удовлетворяет требованиям пункта 9 “Положения о присуждения ученых степеней”, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Кутов Андрей Яковлевич несомненно заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е: Спасибо Григорий Александрович за детальный и подробный анализ. Пожалуйста, вам слово.

Кутов А.Я.: Спасибо за замечания. Первое замечание по поводу “других” треков в дрейфовых камерах. Дрейфовые камеры показаны на слайде. “Другие” треки это те треки, которые не попали в аксептанс вершинного детектора. Это треки, идущие под большими углами и они не регистрировались вершинным детектором. Экспериментальные данные с дрейфовых камер сеанса 2008 года не использовались по разным причинам, в частности была не совсем хорошая работа дрейфовых камер и не было возможности использовать эти данные в обработке.

Официальный оппонент Феофилов Григорий Александрович: Они моделировались?

Кутов А.Я.: В дрейфовых камерах треки не моделировались. Дрейфовые камеры находятся далеко от вершины взаимодействия. Точность измерения в них намного хуже. И соответственно оценка параметров трека невысокая, с большой ошибкой, и не улучшает фитирование вершины. Следующий вопрос. Почему разное количество треков на проекциях. Количество треков на проекциях обычно разное по следующим причинам, на одной проекции треки расходятся, а на другой они могут идти слитно, не разделяясь как один трек. Другая причина, на одной проекции трек восстановился по трем или четырем точкам, а на другой из-за неэффективности срабатывания детектора имеем две точки, поэтому трек не восстанавливается. Также трек может не восстановиться из-за влияния шумов, ложных хитов и из-за неэффективности алгоритма реконструкции. Поэтому количество треков на проекциях обычно разное, редко бывает одинаковое. Но в среднем, когда мы берем статистику, 1млн. событий, среднее значение множественности на проекциях одинаковое. Третье замечание о пике ложных амплитуд. На слайде слева представлены амплитуды сигнала со стрипов, на правом рисунке представлено распределение амплитуды сигнала до и после разделения кластеров. Пик ложных амплитуд находится в этой области (на рисунке показывается область малых амплитуд). Шумы имеют вероятностную

природу. Среднее значение, например, для усилителей Gassiplex, равно 2.5 каналов ADC. При прохождении трека через стрип, вследствие ионизационных потерь, сигнал может иметь малое значение, порядка величины шума. В этом случае мы не можем точно определить является ли этот сигнал от прохождения трека или вследствие шума. Поэтому часть шумов ложно принимается за сигнал от трека. Поэтому появляется пик ложных малых амплитуд. Дальше, к вопросу малого пика в области значений 30-ти. Этот пик связан с прохождением двух частиц через один стрип. Здесь сигнал равен двум минимальным ионизационным потерям. Так как таких срабатываний немного, поэтому наблюдается небольшой пик в области значений 30-ти, точнее 32. Следующее замечание по описанию триггера. С замечанием согласен, описание триггера описано кратко, можно было бы описать более подробно. Последнее замечание по измерению импульсов. На пузырьковой камере "Мирабель" были проведены измерения поперечных и продольных импульсов в зависимости от множественности (показывается на слайде). Получается очень интересный результат, так как в области $N_{ch}=18$ частиц средние значения продольных и поперечных импульсов пересекаются. Получается, что нет лидирующих частиц и в этом случае все треки расходятся изотропно в системе центра масс. У нас тоже проводились такие измерения. Была разработана программа реконструкции импульсов в магнитном спектрометре. Но из-за того, что карта магнитного поля была недостаточна точной, устаревшей, поэтому эффективность реконструкции получилась невысокая. На рисунке (на слайде справа данные СВД-2) представлены средние поперечные и продольные импульсы в системе центра масс. Из-за акцептанса спектрометра поперечные импульсы принимают значения меньшие, чем обычно, порядка 140-160 МэВ. На рисунке тоже видно, что имеется тенденция к пересечению продольных и поперечных импульсов. Здесь на рисунке представлена зависимость от не поправленной множественности в вершинном детекторе. Значение множественности 18 примерно соответствует 24-м. Если провести поправки к значениям импульсам, то они тоже будут пересекаться в области большой множественности. Но требуются более точные измерения. Эти данные не докладывались и не публиковались. Такие исследования при помощи магнитного спектрометра проводились.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е: Григорий Александрович, вас ответ удовлетворяет?

Официальный оппонент Феофилов Григорий Александрович: Да, ответ достаточен.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е: Так, теперь переходим к общей дискуссии по диссертации. Есть ли желающие выступить? Так, Александр Павлович, вам слово как руководителю эксперимента.

Воробьев Александр Павлович, руководитель эксперимента СВД-2: Я хотел бы добавить, что конечно, Андрей Яковлевич отработал много времени на эксперименте, начиная с самой формулировки задач, когда он был еще в Дубне, и в дальнейшем принимал участие в создании установки. Внес большой вклад в обработку данных. Работы, которая вошла в диссертацию, выполнены при определяющем его участии и конфликтов интересов с другими членами коллаборации нет, поскольку он провел большой объем работ. И полностью согласен с оппонентами и с выступающими, что Андрей Яковлевич заслуживает присвоения ему звания кандидата физико-математических наук.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е: Спасибо, еще есть желающие? Если нет, то вам, пожалуйста, заключительное слово.

Кутов А.Я.: В первую очередь я хочу выразить благодарность моим научным руководителям Елене Сергеевне Кокоулиной и Юрию Петровичу Петухову за большую помощь в работе над диссертацией. Хочу выразить благодарность всему сотрудничеству СВД-2, коллегам, которые получали экспериментальные данные, руководителю эксперимента Александру Павловичу Воробьеву, он всегда внимательно относился к моей работе, Павлу Федоровичу Ермолову, бывшему руководителю эксперимента из НИИЯФ МГУ. Также отдельно хочу поблагодарить Рядовикова Василия Николаевича, за большую помощь в работе. Также хочу выразить благодарность моим оппонентам Смирновой Лидии Николаевне и Феофилову Григорию Александровичу за отзывы и полезные замечания. Также выражаю благодарность руководителю проекта "Термализация" Никитину Владимиру Алексеевичу, диссертационному совету за то, что приняли мою диссертацию, и всем членам совета за участие.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е: Спасибо, присаживайтесь. Теперь мы переходим к голосованию. Мы должны выбрать счетную комиссию. Предложение такое: Качанов Владимир Александрович, Сенько Владимир Александрович и Ткаченко Леонид Михайлович.

Перерыв на голосование.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е: Внимание. Слово имеет председатель избранной нами счетной комиссии. Пожалуйста, Владимир Александрович.

Председатель счетной комиссии Качанов В.А.: Протокол № 3-16 от 22.12.16 г. по поводу прошедшей защиты. Состав избранной комиссии: Качанов В.А.,

Сенько В.А., Ткаченко Л.М. Присутствовало на заседании 18 членов совета. Роздано бюллетеней 18. Осталось не розданных бюллетеней – 4. В урне бюллетеней – 18. Результаты голосования, “за” – 18, против - нет, не действительных бюллетеней – нет.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е: Утвердим?

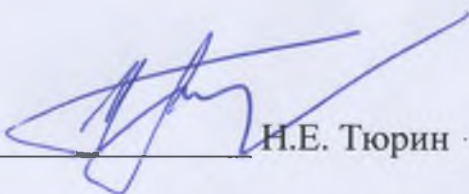
Диссертационный совет утверждает результаты голосования.

Председатель Диссертационного совета Тюрин Н.Е: Теперь обсудим проект заключения о научном значении диссертации. Есть ли какие-либо замечания? Будем считать, что все внимательно ознакомились. Ну есть некие стилистические замечания, моменты, которые нужно поправить. Тогда, если замечаний нет, проголосуем за заключение. Прошу проголосовать. Спасибо. Андрей Яковлевич, поздравляю вас с успешной защитой и желаю вам новых успешных результатов!

Заседание Диссертационного совета завершено.

Председатель
Диссертационного совета
доктор физико-математических наук,
профессор

Ученый секретарь
Диссертационного совета
кандидат физико-
математических наук


Н.Е. Тюрин




Ю.Г. Рябов