

ОТЗЫВ

**официального оппонента Феофилова Григория Александровича
на диссертационную работу Кутова Андрея Яковлевича
«Измерение топологических сечений в pp взаимодействиях в области большой
множественности заряженных частиц при 50 ГэВ на установке СВД-2»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий**

Множественное рождение заряженных частиц, обнаруженное Д.В.Скобельцыным в ливнях от космических лучей, и последовавшие за этим первые исследования неупругих процессов в адронных столкновениях на ускорителях выявили целый ряд неожиданных явлений и стимулировали дальнейшее развитие как экспериментальных так и теоретических подходов к проблеме процессов с большим числом вторичных частиц. Теоретический интерес к проблем очень большой множественности связан в первую очередь с тем, что множественность частиц несет информацию о плотности энергии и энтропии в области взаимодействия. При высоких энергиях протонных столкновений были обнаружены такие эффекты как рост среднего поперечного импульса заряженных частиц с множественностью событий. Более того, первые наблюдения множественного рождения частиц в атмосферных ливнях выявили тенденцию к насыщению значений среднего поперечного импульса с множественностью, что могло расцениваться как факт образования некоторого термализованного состояния. Детальные исследования выхода множественности в зависимости от энергии pp и ppb столкновений показали в области энергий pp -столкновений на БАК отклонение от логарифмического роста с квадратом полной энергии в СЦМ, предсказываемого в мультипериферических моделях. Самыми яркими результатами в исследовании событий с большой множественностью являются измеренные недавно в pp -столкновениях на БАК эллиптический и треугольный потоки, а также явление так называемого «рифа» (ridge) в двухчастичных корреляционных функциях, что всегда рассматривалось ранее как прерогатива для случая тяжелых ионов.

Таким образом, **актуальность темы** диссертационной работы Кутова Андрея Яковлевича очевидна и не вызывает сомнений.

Основной целью диссертационной работы является измерение топологических сечений по данным эксперимента 2008 года в протон-протонных столкновениях при 50 ГэВ в области большой множественности заряженных частиц, $N_{ch} > 16$ частиц. Также в цели работы входило сравнение полученных экспериментально значений для топологических сечений с известными феноменологическими моделями распределений по множественности.

Для обработки экспериментальных данных современного эксперимента в физике высоких энергий требуется как глубокое понимание теоретических основ предсказанных явлений так и доскональное знание экспериментальной установки. А.Я.Кутов хорошо справился со всем комплексом поставленных задач. Среди них надо отметить выбор эффективного метода реконструкции событий на основе фильтра Калмана, разработанный алгоритм распознавания треков и программное обеспечение. Автор диссертации написана программа в среде ROOT для визуализации событий в вершинном детекторе, выполнена оценка эффективности распознавания треков от множественности, в том числе разработан метод поиска треков, объединяющий поиск трековых кандидатов и глобальный поиск. Создано также программное обеспечение для Монте-Карло моделирования работы детекторов. Проведены измерения на установке

СВД-2 ускорителя У-70 для набора экспериментальных данных. Выполнена обработка экспериментальных данных при помощи разработанной программы реконструкции. Проведен анализ экспериментальных данных и сравнение с данными моделирования. Выполнено сравнение с данными, полученными при той же энергии на пузырьковой камере «Мирабель», в области средней множественности и с мировыми экспериментальными данными, полученными при других энергиях. Выполнено сравнение значений топологических сечений, измеренных в области большой множественности, с моделью глюонной доминантности и другими известными моделями.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые проведены измерения топологических сечений в pp взаимодействиях в области большой множественности заряженных частиц. Важно отметить, что в итоге результаты диссертационной представляют продвижение на три порядка дальше в область регистрации редких событий, в которых значительно превышает средняя множественность. Кроме того разработан новый оригинальный алгоритм поиска треков, который эффективно решает проблему двухтрекового разрешения в условиях большой множественности. Общая научная ценность и новизна проводимых в диссертационной работе исследований несомненна. Результаты и выводы, полученные в работе, хорошо обоснованы.

Достоверность и обоснованность результатов подтверждаются целым рядом факторов. Среди них сравнительный анализ разных методов реконструкции треков и вершин событий, применение апробированных методов в сочетании с разработанными новыми, тщательная отладка процедур коррекций множественности с учетом потерь в процессе регистрации, эффективности отбора событий, алгоритмов реконструкции, ограниченности акцептанса вершинного детектора, проверка эффективности методов с использованием данных моделирования, сравнение с полученными ранее результатами по KNO скейлингу и сопоставление с теоретическими расчетами (модель глюонной доминантности – МГД, Монте-Карло генератор PYTHIA). В целом результаты и выводы, полученные в работе, и положения, выносимые на защиту, хорошо обоснованы, что подтверждается также и воспроизводством в проведенных теоретических расчетах основных экспериментальных результатов.

Практическое применение. Результаты данного исследования несомненно представляют большой интерес и будут использованы для расширения диапазона анализа отклонений от KNO скейлинга при энергиях Большого адронного коллайдера. Результаты будут применяться в исследованиях, ведущихся в научных центрах РФ (таких как ОИЯИ, Новосибирск, ИТЭФ, ИЯИ АН, ПИЯФ и др.) и университетах (МГУ, МИФИ, СПбГУ и НГУ). Полученные новые данные по множественности в области больших значений скейлинговой переменной будут использованы в настройках параметров генераторов событий и в теоретическом анализе.

Имеются некоторые замечания к работе.

- 1) В некоторых случаях возникают вопросы, связанные с формулировками в тексте, например на стр. 23: « Дрейфовый трекер 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 треkere магнитного спектрометра». -- О каких «других» треках тут идет речь? Для части треков, не попадающей в акцептанс вершинного детектора, видимо, желательно было бы представить в работе отдельно алгоритм их учета при обработке событий с большой множественностью и, в частности, при фитировании вершины взаимодействия.
- 2) Формулировка в тексте на стр. 60: «значения множественности на разных проекциях часто не совпадают, но в среднем равны», -- возможные причины

несовпадения желательнее было бы прокомментировать.

- 3) Стр.28. Комментарий к Рис.3.12 – 3.13: «В области малых амплитуд остается незначительный пик ложных амплитуд от шумов, неустранимых вследствие вероятностной природы шумов». Данная фраза не очень понятна, что тут имеется ввиду под ложными амплитудами? Что касается данных Рис.3.12 – 3.13, то интересно, что и до и после разделения кластеров проявляется слабый пик для амплитуд ~ 30 . Чем он может быть вызван?
- 4) Изложение Триггерной системы и системы сбора данных (стр.25) в работе представлены слишком кратко.
- 5) В рассматриваемой работе в Главе 2 в разделе 2.2 приводится схема установки СВД-2, в состав которой помимо пучкового телескопа, жидководородной мишени, вершинного детектора, дрейфового трекера, черенковского счетчика, детектора гамма квантов и триггерного годоскопа входит и широкоапертурный магнитный спектрометр. Роль последнего вполне очевидна, однако, в диссертационной работе совсем ничего не говорится о нижней границе и возможностях измерений среднего поперечного импульса заряженных частиц в зависимости от множественности в pp-взаимодействиях на модифицированной установке СВД-2. Вместе с тем, на установке “Мирабель” на ускорителе У-70 ранее было получено, что в pp-взаимодействиях при энергии $E=69$ ГэВ значения среднего поперечного импульса пионов составляют величину ~ 0.2 ГэВ/с и очень слабо зависят от множественности заряженных частиц вплоть до максимально измеренных значений $N_{ch} \sim 18$. Задача проведения треков и измерений среднего поперечного импульса для заряженных частиц в области менее ~ 0.3 ГэВ/с в данной работе не ставилась, но эту интереснейшую тему следовало бы упомянуть.

Стилистические замечания к работе:

- 1) Слово «множественность» и однокоренные слова иногда присутствуют в соседних предложениях или попадают в одно предложение (например, на стр.5 диссертации: «Множественность вторичных частиц - одна из основных характеристик множественного процесса.»)
- 2) На стр. 12 можно прочитать: «...экспериментальные данные по множественности, полученные экспериментом ATLAS...расходятся с предсказаниями различных версий генераторов ...» -- правильное сказать, что предсказания генераторов не подтверждаются экспериментом.
- 3) Стр.27 «Кластера»: должно быть «Кластеры». Кроме того, не очень понятно, что такое «одностриповый кластер», если выше на стр. 27 написано, что «кластеры возникают вследствие срабатывания нескольких соседних стрипов»?
- 4) Стр. 28. «Величина шума... 2.5 ADC...» -- такая форма записи, видимо, относится к жаргону.
- 5) Стр 21. «Годоскоп располагается между мишенью и первой микростриповой плоскостью вершинного детектора (рис.2 – “Trigger”) .» -- Видимо, здесь опечатка, должно быть «рис.2.2.»

Данные замечания, однако, носят дискуссионный характер и никак не умаляют достоинств работы, высокой оценки качества работы и сделанных выводов. Диссертация объемом 89 страниц машинописного текста состоит из введения, 4-х глав и заключения и содержит 40 рисунков, 5 таблиц и список литературы из 56 наименований. Необходимо отметить отличное оформление диссертации, в целом хороший научный язык автора, полную достоверность полученных результатов и высокую научную ценность всего исследования.

Основные результаты диссертационной работы получены соискателем либо лично, либо в соавторстве и полностью отражены в 11 печатных научных публикациях в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus. Вклад автора в основные результаты диссертации является решающим.

Результаты апробированы на различных конференциях международного уровня. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Наличие достаточного числа содержательных публикаций в сочетании с широкой апробацией работы подтверждают вывод об актуальности, научной новизне, достоверности и научно-практической значимости всех результатов, выносимых на защиту.

Диссертационная работа Кутова Андрея Яковлевича, «Измерение топологических сечений в *pp* взаимодействиях в области большой множественности заряженных частиц при 50 ГэВ на установке СВД-2», полностью удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Автор диссертации, Кутов Андрей Яковлевич, несомненно заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Официальный оппонент
Феофилов Григорий Александрович,
кандидат физико-математических наук (шифр специальности 01.04.16),
доцент, заведующий Лабораторией физики сверхвысоких энергий,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет».

Адрес: 198904, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Петродворец, Ульяновская, 1;
Телефон: (812) 4284548 Факс: (812) 4287240 .
Официальный сайт организации: <http://spbu.ru>
E-mail: grigory-feofilov@yandex.ru

02.12.2016

Г.А.Феофилов

Личную подпись заверяю
начальник отдела кадров №3

Н.И. Маштепа 02.12.2016

Подпись руки Г.А. Феофилова заверяю

