

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Азаркина Максима Юрьевича «Множественное рождение частиц в адрон-адронных столкновениях при энергиях Большого Адронного Коллайдера», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертация Азаркина Максима Юрьевича посвящена исследованию процессов множественного рождения частиц в протон-протонных (pp) и ядро-ядерных (AA) столкновениях при энергиях Большого Адронного Коллайдера (БАК). Процессы множественного рождения элементарных частиц занимают значительное место как в экспериментальных исследованиях на современных коллайдерах, так и в теоретических работах в рамках современной теории сильных взаимодействий - квантовой хромодинамики (КХД). Это объясняется тем, что согласно современным представлениям, наблюдаемые в таких процессах закономерности связаны с динамикой взаимодействия фундаментальных составляющих - кварков и глюонов на малых расстояниях и их адронизацией на больших, где проявляются эффекты конфайнмента.

Одним из ярких недавних достижений в этой области явилось наблюдение в pp-столкновениях так называемого эффекта «хребта» в событиях с высокой множественностью (70 заряженных частиц и более), который качественно похож на обнаруженный ранее в ядро-ядерных взаимодействиях при высокой энергии. Этому явлению и процессам множественного рождения частиц в pp столкновениях посвящено большое число работ. Тем не менее полученные экспериментальных данные не позволяют пока сделать однозначных утверждений как о механизме данной корреляции, так и о картине pp столкновений в целом. Таким образом исследования разнообразных характеристик pp и AA-взаимодействий в процессах множественного рождения частиц весьма востребованы и актуальны.

В столкновениях релятивистских ядер рождается настолько большое число частиц, что плотность и температура в зоне их перекрытия достигают значений, при которых возможно образование нового состояния вещества, так называемой кварк-глюонной плазмы. Экспериментально было обнаружено, что в таких столкновениях проявляются коллективные степени свободы, такие как коллективная азимутальная анизотропия частиц, специфические двух- и трехчастичные корреляции. Кроме этого,

сравнение AA и pp столкновений выявило ряд существенных отличий: наличие эффекта гашения струй, подавление выхода адронов с высокими поперечными импульсами (по сравнению с pp столкновениями). Все это свидетельствует в пользу того, что ультррелятивистские AA столкновения не могут быть простой суммой бинарных pp столкновений. В диссертации представлены измерения коллективной азимутальной анизотропии заряженных частиц в столкновениях ядер свинца при $\sqrt{s_{NN}} = 2,76 \text{ ТэВ}$ по данным эксперимента CMS на ускорителе LHC. Актуальность измерений обусловлена тем, что $\sqrt{s_{NN}}$ почти в 14 раз выше, чем в предыдущих экспериментах на ускорителе RHIC.

Диссертация М.Ю. Азаркина состоит из введения, шести глав, заключения и двух приложений.

В главе 1 проведен обзор моделей протон-протонных взаимодействий, используемых в наиболее распространённых программах Монте-Карло симуляций.

В главе 2 приведена информация об эксперименте CMS: описаны его подсистемы, даны основные их характеристики.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных измерений характеристик множественного рождения частиц в протон-протонных столкновениях при $\sqrt{s} = 7 \text{ ТэВ}$. Как функции множественности заряженных частиц (N_{ch}), рожденных в столкновениях протонов были измерены средний поперечный импульс p_T как всех заряженных частиц, так и принадлежащих струям и фоновому событию в отдельности, средний p_T струй, реконструированных из заряженных частиц, структура струй, множественность струй. Новизна подхода состоит в том, что многие из этих характеристик были измерены впервые и позволяют исследовать роли отдельных механизмов во множественном рождении частиц. В результате исследований были выявлены расхождения экспериментальных данных с предсказаниями моделей практически для всех измеренных величин при росте множественности. Было получено, что множественность струй в интервале $10 < N_{ch} \leq 80$ удовлетворительно описывается моделями PYTHIA, а в интервале $80 < N_{ch} \leq 140$ PYTHIA дает в 2-3 раза большие значения множественности струй при наибольшем значении N_{ch} . Модель HERWIG имеет еще большие расхождения и неправильный характер зависимости многих величин от N_{ch} .

Четвертая глава посвящена поиску возможных механизмов возникновения эффекту хребта, впервые обнаруженного коллаборацией CMS на БАК в pp столкновениях при высокой множественности N_{ch} при $\sqrt{s} = 7 \text{ ТэВ}$. Используя Монте-

Карло моделирование с помощью программы PYTHIA с выключённым вкладом от жестких процессов (что усиливает роль струнного механизма в рождении частиц), получена корреляционная структура, качественно похожая на наблюдаемую в экспериментальных данных. Невозможность воспроизведения этого эффекта генератором событий PYTHIA с параметрами оптимальными для описания минимально смещенных событий может быть обусловлена механизмом цветового пересоединения, который стремится минимизировать суммарную длину струн (при этом вероятность пересоединения растет с увеличением числа провзаимодействовавших партонов).

Глава 5 посвящена объяснению экспериментальных данных по множественному рождению частиц в pp столкновениях, в том числе полученных в главе 3. Так, установлено соответствие между множественностью заряженных частиц и прицельным параметром столкновения, и показаны границы его применимости. Впервые продемонстрировано явление универсальной связи между множественностями мягких заряженных частиц и жестких процессов справедливое во всем доступном интервале N_{ch} , которая проявляется в том, что относительные выходы струй ($N^{jet}(N_{ch})/\langle N^{jet} \rangle$) с разными пороговыми значениями поперечного импульса p_T и другими жестким процессами (например, процессами рождения J/ψ и V мезонов) близки. Это может означать, что выход жестких процессов преимущественно определяется начальным состоянием протонов даже при высоких значениях N_{ch} . Показано также, что события с высокими N_{ch} ($N_{ch} > 2\langle N_{ch} \rangle$), несмотря на их малую вероятность, дают весомый вклад в сечение рождения жестких процессов.

В главе 6 представлены результаты измерений так называемого эллиптического потока заряженных частиц в столкновениях ядер свинца при $\sqrt{s_{NN}} = 2,76$ ТэВ, который характеризуется коэффициентом v_2 . Коэффициент v_2 был измерен как функция p_T и η заряженных частиц в каждом интервале значений центральности (12 интервалов от 0 до 80 %). Измеренные значения коэффициента v_2 оказались близки к тем, что наблюдалась ранее в экспериментах на ускорителе RHIC. В сравнении с AuAu столкновениями при $\sqrt{s_{NN}} = 200$ обнаружен рост $v_2(p_T)$ на 5-15% в зависимости от p_T . Значения интегрального значения v_2 показывают практически логарифмическую зависимость от энергии столкновения для близких систем. Представленные исследования азимутальной анизотропии заряженных частиц проведены при энергии в 14 раз большей по сравнению с предыдущими экспериментами (на ускорителе RHIC)

Следует особо отметить, что результаты, полученные в главах 3 и 4 и их теоретическая интерпретация, данная в главе 5, существенно углубляют наши представления о механизмах множественного рождения частиц в pp-взаимодействиях при высокой энергии и вместе с результатами главы 6, полученными для ядроядерных взаимодействиях, существенны для дальнейшего развития теоретических и феноменологических моделей исследуемых процессов.

В качестве замечания, по моему мнению, следует отметить недостаточное количественное исследование и объяснение эффекта хребта - дальних корреляций в протон-протонных столкновениях при большой множественности рожденных частиц.

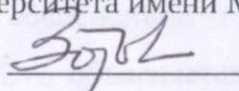
Второе замечание касается отсутствия сравнения экспериментальных данных для параметра эллиптической анизотропии $v_2(p_T)$, полученных четырьмя различными методами, с результатами, полученными с помощью различных Монте-Карло генераторов, в том числе разработанных физиками НИИЯФ МГУ в рамках коллаборации CMS.

В целом диссертация М.Ю. Азаркина написана хорошим русским языком, хотя иногда встречаются мешающие восприятию текста выражения, подобные следующему: "...роль этого механизма подавлена в рождении таких корреляций в угоду другим характеристикам pp взаимодействий", а также использование в некоторых предложениях жаргонов и сленгов.

Перечисленные замечания не имеют определяющего значения и не снижают общую высокую оценку диссертационной работы. В целом диссертация Азаркина Максима Юрьевича является итогом большой по объему и высокой по качеству работы, в которой им продемонстрированы хорошие навыки в экспериментальной работе, а также знание теоретических и феноменологических моделей. В работе получен ряд новых результатов в области физики высоких энергий, имеющих научную ценность. Сформулированные в диссертации выводы и положения достоверны и обоснованы, поскольку опираются на многочисленные экспериментальные данные, использование известных МК генераторов и современные теоретические методы. Основные результаты диссертации опубликованы в открытой

печати в ведущих зарубежных реферируемых журналах. Автореферат диссертации правильно передает ее содержание.

Диссертация «Множественное рождение частиц в адрон-адронных столкновениях при энергиях Большого Адронного Коллайдера» удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Азаркин Максим Юрьевич, по моему мнению, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Ведущий научный сотрудник Отдела теоретической физики высоких энергий
Научно-Исследовательского Института Ядерной Физики имени Д.В. Скобельцына
Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук  Зотов Николай Петрович.
Электронный адрес: zotov@theory.sinp.msu

30.10.2015г.

Подпись Зотова Николая Петровича заверяю:

Директор Научно-Исследовательского Института Ядерной Физики имени Д.В. Скобельцына Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова, профессор, доктор физико-математических наук  Панасюк Михаил Игоревич.



19991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына

Тел.: +7(495)939-18-18 Факс: +7(495)939-08-96

Электронный адрес: info@sinp.msu.ru