

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Снигирева Александра Михайловича на диссертацию Белокуровой Светланы Николаевны на тему «Корреляции и сильно-интенсивные переменные в модели с образованием струнных кластеров при энергиях БАК», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Диссертационная работа Белокуровой С.Н. посвящена актуальной задаче - теоретическому изучению флуктуаций и корреляций различных наблюдаемых в процессах множественного рождения частиц при высоких энергиях, которые содержат информацию о самом начальном этапе взаимодействия адронов, отвечающем наибольшей плотности образующейся кварк-глюонной материи. Изучаемые в диссертации процессы относятся к так называемой мягкой области сильного взаимодействия, где в силу малых переданных импульсов не применима теория возмущений квантовой хромодинамики (КХД). Поэтому в работе для расчетов используется, имеющая лишь качественное КХД обоснование, полуфеноменологическая теория цветных (кварк-глюонных) струн, которая применяется для описания мягких процессов в целом ряде подходов, включая генераторы событий PYTHIA, HIJING, AMPT, EPOS, DIPSY и др.

Уже довольно давно, начиная с работы Т.С. Биро, Г.Б. Нильсена и Дж. Кнолла (1984 г.) высказывались идеи о необходимости учета взаимодействия между струнами и образования струнных кластеров (color ropes), которые получили дальнейшее развитие в работах М.А. Брауна и К. Пахареса. В настоящее время эти идеи нашли подтверждение при анализе результатов экспериментов коллаборации ALICE на БАК по рождению мультиструнных частиц в pp, pPb и PbPb взаимодействиях [Nature Physics 13 (2017) 535], в которых было показано, что единственным генератором событий, который позволяет описать эти процессы, является генератор DIPSY, учитывающий процессы слияния струн и образования струнных кластеров. При этом наблюдающаяся в этом эксперименте непрерывная зависимость выходов мультиструнных частиц от общей плотности числа заряженных частиц в центральной области быстрот для всех реакций - pp, pPb и PbPb - является указанием на общий механизм усиления их образования для этих реакций за счет образования струнных кластеров.

Одним из важнейших результатов, полученных в диссертационной работе Белокуровой С.Н. при анализе корреляций между числом частиц в двух быстротных окнах наблюдения с использованием сильно интенсивной наблюдаемой Σ , как раз является вывод, что зависимость этой переменной от начальной энергии и степени центральности pp столкновения, наблюдаемую в экспериментальных данных коллаборации ALICE, удастся объяснить только при условии слияния, некоторого числа образующихся струн в струнные кластеры. Это доказывает наличие процессов слияния струн в кластеры при энергиях БАК уже в pp рассеянии. При этом показано, что с увеличением начальной энергии и центральности pp столкновения (т.е. с увеличением плотности заряженных частиц на единицу быстроты, свидетельствующей о росте плотности струн) процесс слияния струн и образования струнных кластеров усиливается.

Другим важным результатом, полученным диссертантом и представленным во 2 главе, является исследование зависимости величины дальних корреляций между

наблюдаемыми в двух разнесенных по быстроте интервалах от степени неравномерности распределения струн в плоскости прицельного параметра. В условиях реального эксперимента по ядро-ядерным столкновениям одним из факторов, вызывающих такую неоднородность, может служить, например, сосредоточение струн в области расположения сталкивающихся нуклонов в этих ядрах. В качестве наблюдаемых в работе рассматривается как экстенсивная переменная - множественность заряженных частиц в данном быстротном интервале, так и интенсивная величина - средний поперечный импульс этих частиц в данном событии.

Как результат в диссертации в рамках модели, учитывающей процессы слияния струн для реалистичного случая с неоднородным распределением струн в плоскости прицельного параметра, найдены аналитические выражения для асимптотик коэффициентов дальних корреляций между поперечным импульсом и множественностью, а также между поперечными импульсами в двух разнесенных быстротных окнах наблюдения при большой плотности струн. Для повышения надежности результаты были перепроверены в рамках другого альтернативного подхода. Полученные асимптотические формулы позволили диссертанту исследовать зависимость этих коэффициентов корреляции от степени неоднородности распределения струн в поперечной плотности.

Кроме того был также разработан МК алгоритм, позволяющий в этой модели провести аналогичные вычисления путем симуляций при произвольной плотности струн. Показано, что результаты этих численных расчетов при большой плотности струн выходят на полученные аналитические выражения для асимптот коэффициентов корреляции. Это свидетельствует как о корректности разработанных МК кодов, так и о надежности полученных аналитических выражений для асимптот.

Еще одним важным результатом, изложенным в 3 главе диссертации, является исследование зависимости величины коэффициентов корреляций от степени центральности столкновения адронов. В современных экспериментах физики высоких энергий анализ экспериментальных данных проводится после разбиения всего массива событий на так называемые классы центральности по степени центральности столкновения. В последнее время наряду с AA и pA столкновениями эта методика применяется и при анализе pp рассеяния, в котором классы центральности отбираются по общей множественности образующихся частиц. При расчетах в используемой в диссертационной работе модели, учитывающей процессы слияния струн путем введения конечной решетки в поперечной плоскости, фиксация класса центральности имитировалась путем введения дополнительного условия, фиксирующего общее число струн образующихся в данном событии.

В диссертационной работе были проведены отдельные расчеты и получены аналитические выражения для асимптотик коэффициентов дальних корреляции между множественностями и между поперечным импульсом и множественностью при большой плотности струн с учетом фиксации их общего числа. На их основе показано, что фиксация класса центральности оказывает очень сильное влияние на поведение коэффициентов корреляции. Так, коэффициент корреляции между поперечным импульсом и множественностью в этом случае всегда оказывается отрицательным.

В 4 главе в рамках модели, учитывающей слияние струн и образование струнных кластеров, для случая pp рассеяния при высоких энергиях рассчитана сильно-интенсивная переменная Σ , характеризующая корреляции между числом частиц, образующихся в двух разнесенных по быстрой интервалах наблюдения. Выбор этой переменной, предложенной в работе М.И. Горенштейна и М. Газдицкого в 2011 г., обусловлен тем, что она позволяет в значительной мере подавить вклад в корреляцию между изучаемыми величинами, происходящий от так называемых объемных флуктуаций, возникающих, в частности, в представленном подходе, вследствие неизбежных в реальном эксперименте флуктуаций общего числа струн от события к событию.

Показано, что в рамках модели со слиянием струн и образованием струнных кластеров переменная Σ выражается через параметры струнных кластеров и весовые коэффициенты α_k , равные относительным долям частиц, образующихся от распада кластеров данного типа, образованных слиянием k начальных струн. Эти коэффициенты зависят как от начальной энергии, так и центральности pp столкновения. Для их расчета в диссертации используется МК моделирование распределения струн в плоскости прицельного параметра согласно условиям pp столкновения и с последующим учетом слияния струн и образования струнных кластеров. С использованием полученных коэффициентов α_k для окон наблюдения заданной ширины рассчитана зависимость переменной Σ от величины быстротного зазора между этими окнами наблюдения.

Проведено сравнение полученных теоретических результатов с предварительными данными по величине переменной Σ , полученными из анализа данных эксперимента ALICE по pp столкновениям на БАК при энергиях 0.9-13 ТэВ. Показано, что наблюдаемую в экспериментальных данных зависимость этой переменной от начальной энергии и центральности pp столкновения удастся объяснить, только при условии учета процесса слияния струн и образования струнных кластеров. Это позволяет сделать диссертанту важный вывод о наличии нового физического явления - образования струнных кластеров при энергиях БАК уже в pp столкновениях.

В целом диссертация представляет собой всестороннее теоретическое исследование флуктуаций и корреляций, возникающих между различными наблюдаемыми в процессах множественного рождения заряженных частиц во взаимодействиях адронов при энергиях БАК. Содержит целый ряд новых важных научных результатов, свидетельствующих о личном вкладе автора диссертации в науку. Представленные в диссертации результаты получены на основе большого объема как аналитических, так и МК вычислений.

К недостаткам работы можно отнести фрагментарность изложения в Главе 1 при описании используемой в работе модели со слиянием струн в плоскости прицельного параметра. Особенно это касается параграфов 1.2-1.4. Их содержание трудно понять без обращения к оригинальным работам по имеющимся ссылкам.

Недостатком также является отсутствие в начале главы 2 изложения физической мотивации проводимых в ней вычислений.

Указанные недостатки не умаляют достоинств представленной диссертации, которая представляет собой законченное научное исследование, обладающее внутренним

единством. Она содержит целый ряд новых интересных научных результатов, которые имеют важное значение для развития теории взаимодействия элементарных частиц при высоких энергиях. Представленные в диссертации результаты опубликованы в шести журнальных статьях, индексируемых в международных базах данных, и неоднократно докладывались на конференциях, что свидетельствует о высоком уровне проведенных исследований.

Диссертация Белокуровой Светланы Николаевны на тему: «Корреляции и сильно-интенсивные переменные в модели с образованием струнных кластеров при энергиях БАК» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Белокурова Светлана Николаевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

Доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Снигирев Александр Михайлович



06.06.2023

Подпись Снигирева А.М. удостоверяю:

Ученый секретарь НИИЯФ МГУ
кандидат физ.-мат. наук



Сигаева Е.А.