

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию Белокуровой Светланы Николаевны «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 Светланы Белокуровой посвящена теоретическому исследованию корреляций между величинами, наблюдаемыми в разнесенных быстротных интервалах в процессах множественного рождения частиц при взаимодействии адронов высоких энергий.

Известно, что изучение флуктуаций и корреляций различных наблюдаемых в процессах множественного рождения частиц при высоких энергиях дает информацию о самом начальном этапе взаимодействия адронов, отвечающем наибольшей плотности образующейся кварк-глюонной материи. Это позволяет получить уникальные данные о новых объектах, образующихся на этом этапе, в частности о кварк-глюонных струнах и струнных кластерах.

Поскольку данные физические явления относятся к мягкой области сильного взаимодействия с малыми передачами импульса, то в ней невозможно провести расчеты по теории возмущений КХД. Для их количественного описания обычно, в том числе и во всех существующих монте-карловских генераторах событий, таких как PYTHIA, VENUS, HIJNG, AMPT, EPOS, DIPSY и др., используется модель кварк-глюонных (цветных) струн, имеющая качественное обоснование в рамках КХД. Эта модель предполагает, что на первом этапе сильного взаимодействия между партонами сталкивающихся адронов происходит формирование некоторого количества протяженных объектов - трубок цветового потока (color flux tubes), которые в первом приближении можно рассматривать как одномерные струны. На следующем этапе происходит фрагментация этих струн в адроны.

Между тем дальнейшие исследования показали, что для корректного описания процессов множественного рождения частиц в процессах с участием релятивистских ядер при большой плотности струн необходимо учесть эффекты от их перекрытия в плоскости прицельного параметра, возникающие в силу конечности поперечного радиуса струны. В работе Биро, Нильсена и Кнолла (1984 г.) была высказана гипотеза о формировании струнных кластеров (цветных веревок, color ropes) во взаимодействиях ультрарелятивистских ядер. Эта идея получила развитие в модели слияния

струн, предложенной в работах М. Брауна и К. Пахареса (1992 г.). В дальнейшем в работе Н. Амелина, Н. Арместо, М. Брауна, Е. Феррейро, К. Пахареса (1994 г.) и последующих работах целого ряда авторов для поиска и экспериментального подтверждения процессов слияния струн и образовании струнных кластеров было предложено использовать анализа корреляций между различными наблюдаемыми в двух разнесенных быстройных интервалах.

Однако чтобы извлечь информацию о процессах слияния струн из анализа флуктуаций и корреляций, необходимо уметь отделить в экспериментальных данных тривиальный затеняющий вклад, так называемых, “объемных” флуктуаций, например, флуктуаций от события к событию числа образующихся струн, возникающий, в частности, по причине принципиально неустранимых флуктуаций прицельного параметра в реальном эксперименте. В этом плане особое значение имеет изучение флуктуаций и корреляций с использованием интенсивных и сильно-интенсивных наблюдаемых, которые позволяют минимизировать вклад “объемных” флуктуаций, и дают возможность получить информацию о свойствах объектов, образующихся на начальной стадии сильного взаимодействия.

В представленной Светланой Белокуровой диссертации для этой цели используется, так называемая, сильно интенсивная переменная Σ , введенная в работе М. Горенштейна и М. Газдицкого (2011 г.). С ее помощью в диссертации путем сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными коллаборации ALICE (2021 г.), в частности, показано, что при энергиях большого адронного коллайдера (БАК) образования струнных кластеров происходит уже в pp взаимодействиях, что свидетельствует об актуальности темы исследования.

В диссертационной работе Светланы Белокуровой проведено систематическое исследование корреляций между величинами, наблюдаемыми в разнесенных быстройных интервалах. Эффекты слияния струн и образования струнных кластеров учитывались путем введения конечной решетки (сетки) в плоскости поперечной к оси столкновения.

В рамках этого подхода для реалистичного случая с неоднородным распределением струн в плоскости прицельного параметра двумя независимыми способами получены аналитические выражения для асимптотики коэффициентов дальних корреляций между поперечным импульсом и множественностью, а также между поперечными импульсами в двух разнесенных быстройных интервалах, при большой плотности струн и проанализированы их свойства. Дополнительно был также разработан монте-

карловский (МК) алгоритм, позволяющий провести эти расчеты при произвольной плотности струн. Показано, что результаты МК расчетов при большой плотности струн выходят на асимптотику, рассчитанную аналитически, что подтверждает надежность, полученных результатов.

Отдельно было исследовано влияние дополнительного условия фиксации общего числа начальных струн, соответствующего отбору по классам центральности при анализе экспериментальных данных, на величину коэффициентов дальних корреляции между множественностями и между поперечным импульсом и множественностью. Получены аналитические выражения для асимптотик этих коэффициентов при большой плотности струн с учетом фиксации их общего числа и исследованы их свойства.

В рамках этой же 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 быстроте интервалах наблюдения. Найдено выражение этой переменной, через параметры струнных кластеров. Путем моделирования реалистического распределения струн в плоскости прицельного параметра получена зависимость этой переменной от энергии и центральности pp столкновения.

В работе также проведено сравнение результатов расчетов Σ с экспериментальными данными коллаборации ALICE на БАК. Установлено, что наблюдаемое в эксперименте ALICE поведение этой переменной удается объяснить только при наличии источников разного типа, роль которых в используемой модели играют одиночные струны и кластеры, образованные слиянием нескольких струн. Показано, что это сравнение позволяет зафиксировать модельные параметры, характеризующих кластеры с различным числом слившихся струн.

В целом, выполненная теоретическая работа является весьма объемной и интересной. В ней, несмотря на большой объем потребовавшихся аналитических вычислений, удалось получить новые явные выражения для асимптотик коэффициентов корреляции при большой плотности струн с учетом ряда условий, соответствующих реальной экспериментальной ситуации. Это позволяет качественно понять характерные черты поведения коэффициентов корреляции. Показано также, что полученные аналитические формулы можно использовать для контроля МК алгоритмов, обычно используемых для расчета процессов с учетом экспериментальных условий. Совпадение их результатов при большой плотности струн подтверждает корректность, как МК алгоритмов, так и полученных аналитических выражений.

Об актуальности исследования свидетельствует доказательство, полученное с использованием сильно-интенсивной наблюдаемой Σ , того, что при энергиях БАК образования струнных кластеров происходит уже в pp взаимодействиях. Результаты работы являются оригинальными, существенная часть получена лично соискателем. Результаты изложены в шести статьях в журналах, индексируемых в международных и российских базах данных и неоднократно докладывались на международных и всероссийских конференциях, что доказывает высокий уровень проведенных теоретических исследований.

В работе Светлана проявила себя высококвалифицированным исследователем, свободно владеющим математическим аппаратом современной теоретической физики, и способным корректно проделывать большой объем как аналитических, так и численных расчетов. Особо следует отметить самостоятельность ее работы. Все вычисления она проделала совершенно самостоятельно, находя все необходимые математические средства для достижения результата. Отметим, что кроме теоретических исследований, представленных в диссертации, Светлана, являясь членом коллаборации ALICE на БАК в ЦЕРН, удаленно принимает участие в рабочих сменах по набору и анализу данных в эксперименте ALICE.

Считаю, что диссертация Белокуровой Светланы Николаевны на тему «Корреляции и сильно-интенсивные переменные в модели с образованием струнных кластеров при энергиях БАК» представляет собой законченный научный труд, содержащий новые результаты. Поэтому её автор несомненно заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика. Диссертация соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете».

Рекомендую диссертационную работу Светланы Белокуровой к защите в Санкт-Петербургском государственном университете.

Научный руководитель,
доктор физико-математических наук
профессор кафедры физики высоких энергий
и элементарных частиц Санкт-Петербургского
государственного университета

Вечерник

В.В. Вечерник

«14» февраля 2023 года



14.02.2023