

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

1-2007-133

На правах рукописи  
УДК 539.171, 53.043, 53.072

**ДЕДОВИЧ**  
Татьяна Григорьевна

**СКЕЙЛИНГОВЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОЖДЕНИЯ  
НЕЙТРАЛЬНЫХ МЕЗОНОВ И СТРУЙ  
В ПРОТОН-(АНТИ)ПРОТОННЫХ И ПРОТОН-ЯДЕРНЫХ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ**

Специальность: 01.04.16 — физика ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 2007

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий  
им.В.И.Векслера и А.М.Балдина  
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

ТОКАРЕВ  
Михаил Владимирович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

ДОРОХОВ  
Александр Евгеньевич

доктор физико-математических наук,  
профессор

КОРОТКИХ  
Владимир Леонидович

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Московский инженерно-физический институт

Защита состоится "....." ..... 2007 года в "....." часов  
на заседании диссертационного совета при Лаборатории  
высоких энергий Объединенного института ядерных  
исследований, по адресу: 141980, г. Дубна Московской области,  
ЛВЭ ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ  
ОИЯИ.

Автореферат разослан "....." ..... 2007 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук

В.А. Арефьев



## Общая характеристика работы

В диссертации представлены результаты изучения свойств  $z$ -скейлинга в рождении  $\pi^0$  мезонов в  $p + p(\bar{p}, A)$  взаимодействиях,  $\eta^0$ -мезонов в  $p + p$  и струй в  $p + p(\bar{p})$  столкновениях при высоких энергиях. Для анализа использовались экспериментальные данные, полученные на коллайдерах ISR, Sp $\bar{p}$ S, Tevatron и RHIC коллаборациями AFS, UA1, UA2, D0, CDF, E557, PHENIX и STAR. Представлены результаты предсказательных расчетов импульсных спектров мезонов и струй в широкой области энергий столкновения и поперечных импульсов, рожденных частиц/струй. Результаты анализа сравниваются, в рамках  $z$ -скейлинга, с последними данными RHIC и Tevatron. Определяются критерии возможного нарушения  $z$ -скейлинга. Приведены результаты исследований влияния параметров конусного алгоритма реконструкции струй на вероятность выделения  $N$ -струйных событий, характеристики и спектры струй в  $p_T$  и  $z$  представлениях. Таким образом в диссертации представлены результаты, обобщающие теорию  $z$  скейлинга на процессы инклюзивного рождения нейтральных мезонов и струй и демонстрирующие прикладные возможности  $z$  скейлинга как метода анализа экспериментальных данных в поиске новых закономерностей рождения частиц в физике высоких энергий.

## Актуальность изучаемых задач

Поиск скейлинговых закономерностей всегда был предметом интенсивных исследований при изучении взаимодействий частиц и ядер высоких энергий. Как правило, их открытия (скейлинги Бьеркена, Фейнмана, Кобы-Нильсена-Олесена, кумулятивное рождение и др.) способствовали выявлению новых свойств взаимодействия и структуры частиц, а также существенному продвижению в развитии теории сильных взаимодействий. Установленные закономерности позволили вычислять различные характеристики процессов (сечения, структурные функции, распределения по множественности и др.) в новых кинематических областях и, тем самым, демонстрировали предсказательную силу существующих теорий. Отклонения от скейлингового поведения наблюдаемых характеристик, установленного для достаточно широкой экспериментально-исследованной кинематической области, как правило, считаются проявлением новых физических явлений. Эти отклонения в дальнейшем изучаются и используются для последующего развития теории.

Одним из основных методов исследования ядерной материи и свойств среды, образующейся при взаимодействии адронов и ядер является поиск нарушения закономерностей, установленных для частицы с большими поперечными импульсами и струй в элементарных лептон-адронных и адрон-адронных взаимодействиях. Последние представляют собой коллимированные в пространстве и времени потоки высокоэнергетических частиц. Считается, что они являются результатом взаимодействия элементарных конститuentов (кварков и глюонов).

Изучение скейлинговых закономерностей рождения струй, отражающих механизм их образования и структуру, требует адекватного соответствия между теоретическим описанием струй в рамках теории КХД и их экспериментальным представлением. Последнее требует определения этих объектов в терминах измеряемых

величин, получаемых с использованием адронных и электромагнитных калориметров или других детектирующих приборов. Поиск такого соответствия, исследование влияния параметров алгоритмов реконструкции на спектры струй, определение области оптимальных значений этих параметров является актуальным и представляет одну из основных задач физики струй.

Одна из новых закономерностей в рождении заряженных адронов с большими поперечными импульсами при взаимодействии (анти)протонов и ядер при высоких энергиях получила название  $z$  скейлинга [1]. Проверка установленных свойств  $z$  скейлинга, их изучение при рождении нейтральных мезонов и струй в  $p(\bar{p}) + p$  взаимодействиях, а также поиск новых закономерностей в рамках этой теории является актуальной задачей. Ее решение нацелено на установления новых физических закономерностей в физике высоких энергий, проверку предсказательной силы КХД, а также на установление дополнительных ограничений на модели рождения адронов. Изучение свойств  $z$  скейлинга в  $p + A$  и  $A + A$  взаимодействиях проводится с целью выявления особенностей образования частиц в сложных системах и изучения влияния ядерной среды на процесс формирования частиц. Нарушение  $z$  скейлинга при высоких энергиях предлагается рассматривать как указание на возможность существования новых физических процессов или закономерностей таких как фазовые переходы в адронной и ядерной материи, структурность кварков, фрактальность пространства и времени, новые виды взаимодействий.

### **Цель исследования**

Целью работы является:

- Построение скейлинговой функции  $\psi(z)$  и переменной  $z$  для процесса инклюзивного рождения  $\pi^0$  мезонов в  $p + p(\bar{p}, A)$  взаимодействиях,  $\eta^0$  мезонов в  $p + p$  и струй в  $p + p(\bar{p})$  столкновениях.
- Исследование свойств  $z$  представления нейтральных мезонов и струй в рассматриваемых процессах. Сравнение свойств скейлинговой функции  $\psi(z)$  для  $\pi^0$  мезонов и струй в  $p + p$  и  $\bar{p} + p$  взаимодействиях. Проверка  $z$  скейлинга для нейтральных мезонов и струй на RHIC и Tevatron при энергиях 200 и 1960 ГэВ, соответственно.
- Предсказание импульсных спектров  $\pi^0$  мезонов в  $p + p(\bar{p}, A)$  взаимодействиях,  $\eta^0$  мезонов в  $p + p$  и струй в  $p + p(\bar{p})$  столкновениях при энергиях RHIC, Tevatron и LHC в более широкой области поперечных импульсов.

• Установление критерия и области оптимального поиска возможного нарушения  $z$ -скейлинга в столкновениях адронов/струй при более высоких энергиях.

• Исследование влияние параметров конусного алгоритма реконструкции струй на вероятность выделения  $N$ -струйных событий, характеристики и спектры струй в  $p_T$  и  $z$  представлениях.

### **Научная новизна**

В диссертации:

- Впервые построена скейлинговая функция  $\psi(z)$  и переменная  $z$  для рождения  $\pi^0$  мезонов в  $p + p$ ,  $\bar{p} + p$  и  $p + A$  взаимодействиях и  $\eta^0$  мезонов в  $p + p$  и струй в  $p + p$ ,  $\bar{p} + p$  столкновениях при высоких энергиях.

- Впервые изучены свойства  $z$ -скейлинга в адрон-адронных и адрон-ядерных процессах рождения нейтральных мезонов и струй при высоких энергиях. Установлена энергетическая, угловая независимость и степенное поведение скейлинговой функции  $\psi(z)$  при больших значениях  $z$ . Установлена  $A$ -зависимость преобразования  $\alpha(A)$ , позволяющего сравнивать скейлинговые функции для различных ядер и свидетельствующая о самоподобном характере влияния ядерной среды на механизм формирования частиц с большими поперечными импульсами.

- Впервые на основе  $z$ -скейлинга предсказаны импульсные спектры  $\pi^0$  мезонов в  $p+p$ ,  $\bar{p}+p$  и  $p+A$  взаимодействиях, спектры  $\eta^0$  мезонов  $p+p$  и струй в  $p+p$ ,  $\bar{p}+p$  столкновениях для различных кинематических диапазонов при энергиях RHIC, Tevatron и LHC.

- Впервые определены критерии и области оптимального поиска возможного нарушения  $z$ -скейлинга в столкновениях при более высоких энергиях.

- Впервые установлена степень влияния параметров конусного алгоритма на спектры струй в  $z$  представлении.

### Научно-практическая ценность работы

- Созданы программы для построения и исследования свойств скейлинговой функции  $\psi(z)$  и переменной  $z$  для рождения  $\pi^0$  мезонов в  $p+p$ ,  $\bar{p}+p$  и  $p+A$  взаимодействиях,  $\eta^0$  мезонов в  $p+p$  и струй в  $p+p$ ,  $\bar{p}+p$  столкновениях.

- На основании установленных свойств  $z$ -скейлинга, предсказаны спектры  $\pi^0$  мезонов в  $p+p(\bar{p}, A)$  взаимодействиях,  $\eta^0$  мезонов в  $p+p$  и струй в  $p+p(\bar{p})$  столкновениях при энергиях RHIC, Tevatron и LHC.

- Предложена сигнатура для поиска новых физических закономерностей при рождении частиц/струй в рамках теории  $z$  скейлинга.

- Указаны кинематические границы независимости спектров струй в  $z$  представлениях от параметров конусного алгоритма реконструкции струй.

- Показана принципиальная возможность применения метода для анализа новых экспериментальных данных и планирования экспериментов по рождению нейтральных мезонов и струй как при более высоких энергиях достижимых на LHC, так и при меньших энергиях в области больших поперечных импульсов.

### Защищаемые положения

- Построение скейлинговых функций  $\psi(z)$  для рождения  $\pi^0$  мезонов в  $p+p$ ,  $\bar{p}+p$  и  $p+A$  взаимодействиях,  $\eta^0$  мезонов в  $p+p$  и струй в  $p+p$  и  $\bar{p}+p$  столкновениях при высоких энергиях.

- Свойства  $z$ -скейлинга в рождении нейтральных мезонов и струй в  $p+p(\bar{p}, A)$  столкновениях. Энергетическая, угловая независимость и степенное поведение скейлинговой функции ( $\psi(z) \sim z^{-\beta}$ ) при больших значениях  $z$ . Различие параметров наклона  $\beta$  скейлинговой функции  $\psi(z)$  в  $p+p$  и  $\bar{p}+p$  взаимодействиях ( $\beta_{pp} > \beta_{\bar{p}p}$ ). Зависимость преобразования  $z \rightarrow \alpha(A)z$ ,  $\psi \rightarrow \alpha^{-1}(A)\psi$  от атомного номера ядра ( $A$ -зависимость), используемого при сравнении функций  $\psi(z)$  для различных ядер.

- Предсказания на основе  $z$  скейлинга импульсных спектров  $\pi^0$  мезонов в  $p+p(\bar{p}, A)$  взаимодействиях,  $\eta^0$  мезонов в  $p+p$  и струй в  $p+p(\bar{p})$  столкновениях

для различных кинематических диапазонов при энергиях RHIC, Tevatron и LHC.

- Предложение об использовании  $z$  скейлинга как метода поиска новых физических закономерностей в рождении частиц и струй, образующихся в адрон-адронных и адрон-ядерных взаимодействиях при высоких энергиях.

- Результаты выбора параметров конусного алгоритма реконструкции струй в  $p + p$  взаимодействиях при  $\sqrt{s} = 200$  ГэВ. Установлено, что параметр  $E_{seed} = (0.5 - 1.5)$  ГэВ не влияет, а  $E_{cut}$  и  $R$  изменяют тип реконструированных событий (1, 2, ... N-струйные). Показано, что точность восстановления двумя лидирующими струями (в N-струйных событиях) поперечного импульса и направления жестко рассеянного партона не зависит от параметра  $E_{cut}$  при  $R=0.7$  и чувствительна к величине параметра  $R$ .

- Зависимость инклюзивных сечений струй и их  $z$ -представлений в области  $E_T^{Jet} < 25$  ГэВ и независимость наклона  $\beta$  скейлинговой функции в области  $E_T^{Jet} = (25 - 60)$  ГэВ от параметров конусного алгоритма.

### **Основные публикации и апробация работы**

Материалы, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на научных семинарах ЛВЭ, ЛВЭ-ЛФЧ ОИЯИ, ИТЭФ, БНЛ, XV, XVII и XVIII Международных семинарах по проблемам физики высоких энергий "Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика" (Дубна, 2000, 2004, 2006), сессии-конференции секции ЯФ ОФН РАН "Физика фундаментальных взаимодействий" (Москва, 2004), рабочих совещаниях "Hard probes in heavy-ion collisions at the LHC" (ЦЕРН, 2001-2003), "Relativistic Nuclear Physics: From Hundreds of MeV to TeV" (Slovakia, Stara-Lesna, 2003; Dubna, 2005), XXXIII Международной конференции по физике высоких энергий (Москва, 2006), рабочем совещании Европейской исследовательской группы по физике ультрарелятивистских тяжелых ионов (Дубна, 2006). Результаты исследований, представленных в диссертации, опубликованы в 8 работах.

### **Содержание работы**

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, четырех приложений и списка цитируемой литературы (286 наименований). Общий объем 192 страницы, в том числе 56 рисунков и 5 таблиц.

**Во введении** кратко описаны наиболее известные скейлинговые закономерности, установленные в физике высоких энергий. Обосновывается актуальность темы, формулируются цели и задачи диссертационной работы, описывается научная новизна и научно-практическая ценность работы. Приводятся основные защищаемые положения, а также список публикаций и апробаций по теме диссертационной работы. В конце раздела приводится краткое содержание диссертации по главам.

**В первой главе** дан обзор литературы, в котором представлено описание наиболее известных скейлинговых закономерностей, установленных во взаимодействиях частиц (лептонов, адронов и ядер) высоких энергий. Приведены области их применимости, связанные с классом изучаемых явлений. Описаны физические интерпретации моделей и скейлинговых переменных, используемых для анализа экспериментальных данных. Отмечается, что обнаружение отклонений от скейлингов

являются стимулом для дальнейшего развития теоретических моделей.

Отдельный раздел обзора посвящен описанию  $z$ -скейлинга. Представлены формулировки основных принципов положенных в его основу. Описана процедура построения скейлинговой функции и скейлинговой переменной, типы анализируемых процессов, кинематические границы применимости скейлинга, свойства  $z$  представления. Отмечаются предсказательные возможности описываемого метода анализа.

В основу данного феноменологического подхода положены принципы локальности, самоподобия и фрактальности.  $z$ -Скейлинг и его обобщения описывают процессы инклюзивного рождения адронов, прямых фотонов и струй в адрон-адронных, адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях. Диапазон рассматриваемых энергий составляет  $\sqrt{s} = (19 - 1960)$  ГэВ.  $z$ -Скейлинг применяется для описания спектров частиц/струй в области углов  $\theta = 3^0 - 90^0$ , поперечных импульсов адронов  $p_T = (0.2 - 40)$  ГэВ/с, прямых фотонов  $p_T = (4 - 250)$  ГэВ/с и струй  $p_T = (25 - 500)$  ГэВ/с. Обобщенный  $z$ -скейлинг описывает процессы рождения адронов с различными плотностями множественности вплоть до  $dN_{ch}/d\eta = 26$ . Скейлинговая функция  $\psi(z)$  демонстрирует энергетическую, угловую независимость и степенной характер в области больших  $z$ . Такое поведение  $\psi(z)$  указывает на возможность описания как мягкого, так и жесткого процесса образования частиц в рамках  $z$ -скейлинга. Мягкий режим соответствует малыми значениям  $z$ , а для жесткого режима характерно степенное поведение  $\psi(z) \sim z^{-\beta}$  при больших  $z$ . Степенное поведение отражает фрактальный процесс образования частиц и дает основание полагать, что это общее свойство образования частиц при больших  $z$ . Поэтому экспериментальная проверка, установленной закономерности, представляет значительный интерес как для развития моделей, описывающих рождение частиц, так и представлений о свойствах пространства-времени на малых масштабах  $\sim (10^{-2} - 10^{-4})$  Фм. Свойства  $z$ -скейлинга позволяют предсказать спектры адронов, прямых фотонов в  $h + h$ ,  $h + A$  и  $A + A$  взаимодействиях, а так же спектры струй в  $p(\bar{p}) + p$  столкновениях при энергиях RHIC, Tevatron и LHC. Возможно использование  $z$  скейлинга как одного из методов поиска новых физических закономерностей, таких как фазовые переходы в адронной и ядерной материи, новые виды взаимодействия, связанные с существованием подструктуры кварков и глюонов. Обнаружение данных закономерностей проявилось бы в нарушении установленных свойств  $z$  скейлинга.

**Во второй главе** описан общий формализм  $z$ -скейлинга для анализа инклюзивных процессов. Данный феноменологический метод основывается на предположении, что особенности спектра рождения инклюзивной частицы в реакции  $P_1 + P_2 \rightarrow p + X$  при высоких энергиях могут быть описаны в терминах соответствующих кинематических характеристик эксклюзивного подпроцесса конститuentов

$$(x_1 M_1) + (x_2 M_2) \rightarrow m_1 + (x_1 M_1 + x_2 M_2 + m_2). \quad (1)$$

Величины  $x_1$  и  $x_2$  представляют собой доли импульсов  $P_1$  и  $P_2$  сталкивающихся объектов с массами  $M_1$  и  $M_2$ , переносимые конститuentами. Параметр  $m_2$  вводится для выполнения аддитивных законов сохранения по изоспину, барионному заряду,

странности и др. Описание процесса взаимодействия адронов и ядер в терминах взаимодействия их конstituентов демонстрируется на рис. 1. Локальность адронных взаимодействий учитывается законом сохранения 4-импульса для подпроцесса взаимодействия конstituентов. В основе построения  $z$ -скейлинга лежит принцип

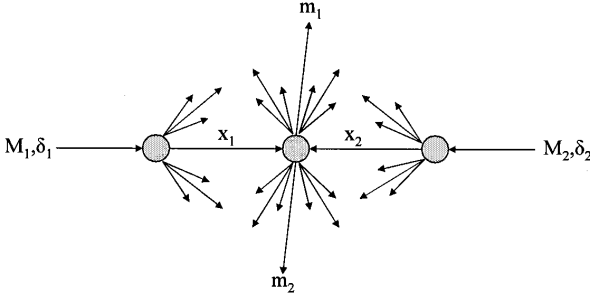


Рис. 1: Диаграмма взаимодействия адронов/ядер на уровне конstituентов.

самоподобия, т.е. описание инклюзивного рождения частицы в терминах набора параметров не содержащих характерных масштабов независимых переменных. Таким образом рождение частицы, в рамках  $z$ -скейлинга, описывается безразмерной скейлинговой функцией  $\psi(z)$ , которая зависит от безразмерной переменной  $z$

$$\psi(z) \equiv \frac{1}{N\sigma_{int}} \frac{d\sigma}{dz}. \quad (2)$$

Здесь  $\sigma_{int}$  - неупругое инклюзивное сечение,  $N$  - средняя множественность. Скейлинговая переменная  $z$  является безразмерной комбинацией величин, характеризующих рождение частицы в инклюзивной реакции при больших энергиях, и конструируется как фрактальная мера

$$z = z_0 \Omega^{-1}(x_1, x_2), \quad \Omega(x_1, x_2) = (1 - x_1)^{\delta_1} (1 - x_2)^{\delta_2}. \quad (3)$$

Величина  $\Omega(x_1, x_2)$  имеет степенную зависимость от переменных  $x_1, x_2$ , определяемую значениями фрактальных размерностей сталкивающихся объектов  $\delta_1$  и  $\delta_2$  ( $z_0$  - слабоменяющаяся функция тех же переменных).  $\Omega^{-1}(x_1, x_2)$  описывает разрешение, при котором элементарное столкновение конstituентов может быть выделено из рассматриваемого инклюзивного процесса. Величина  $\Omega(x_1, x_2)$  связывает кинематические  $(x_1, x_2)$  и структурные  $(\delta_1, \delta_2)$  характеристики изучаемых частиц. Концепция  $z$ -скейлинга, применяемая для описания процессов рождения частиц при высоких энергиях базируется на общих фундаментальных принципах (локальности, самоподобия и фрактальности), которые имеют широкую область применимости в различных областях физики.

Скейлинговая функция  $\psi(z)$  и переменная  $z$  выражаются через экспериментально измеряемые величины - инклюзивное сечение рождения  $Ed^3\sigma/dp^3$  и среднюю плотность множественности  $dN/d\eta$



$$\psi(z) = -\frac{\pi s}{(dN/d\eta)\sigma_{int}} J^{-1} E \frac{d^3\sigma}{dp^3}, \quad z = \frac{\sqrt{\hat{s}_\perp}}{m(dN/d\eta)|_{\eta=0}} \cdot \Omega^{-1}. \quad (4)$$

Здесь  $\sqrt{s}$  - энергия столкновения в системе центра масс,  $\sigma_{int}$  - полное неупругое сечение взаимодействия,  $m$  - массовый коэффициент, равный массе нуклона,  $\sqrt{\hat{s}_\perp}$  - поперечная энергия элементарного подпроцесса,  $J = J(P_{1,2}, p_1, M_{1,2}, m_1)$  - коэффициент зависящий от кинематических переменных. Формулы выражающие  $x_{1,2}$ ,  $\sqrt{\hat{s}_\perp}$  и  $J$  через импульсы и массы сталкивающихся и инклюзивной частиц, а также другие вспомогательные выражения, необходимые для вычисления  $\psi(z)$  и  $z$  приведены в приложениях 1, 2, 3 диссертации.

Уравнение нормировки

$$\int_0^\infty \psi(z) dz = 1 \quad (5)$$

позволяет интерпретировать функцию  $\psi(z)$  как плотность вероятности образования частицы с данным значением величины фрактальной меры  $z$ , соответствующей рассматриваемому инклюзивному процессу.

**В третьей главе** приведены результаты анализа экспериментальных данных по инклюзивному рождению  $\pi^0$  и  $\eta^0$  мезонов в  $p(\bar{p}) + p$  взаимодействиях в рамках концепции  $z$ -скейлинга. Описывается построение  $\psi(z)$  и  $z$  для рассматриваемых процессов. Описаны кинематические диапазоны энергий столкновений  $\sqrt{s} = (23 - 540)$  ГэВ, поперечных импульсов  $p_T = (1 - 40)$  ГэВ/с и углов вылета  $\theta = 5^\circ - 90^\circ$  инклюзивной частицы в исследуемых процессах. Обращается внимание на сильную зависимость спектров нейтральных мезонов от энергии столкновения и угла вылета частиц с ростом поперечного импульса  $p_T$  инклюзивной частицы.

Исследуются свойства  $z$ -представления анализируемых данных. Установлены энергетическая, угловая независимость и существование двух различных областей в поведении скейлинговой функции  $\psi(z)$  (рис. 2 (а,б)). Открыт степенной закон поведения функции  $\psi(z) \sim z^{-\beta}$  при больших значениях переменной  $z$ . Он рассматривается, как доказательство фрактального характера процесса образования частиц. Существование двух различных областей в поведении скейлинговой функции является проявлением мягкого (область малых  $z$ ) и жесткого (степенное поведение  $\psi(z)$  при  $z > 4$ ) процесса образования частиц. Установлено различие величины параметра наклона  $\beta$  скейлинговой функции для  $\pi^0$  мезонов в  $p + p$  и  $\bar{p} + p$  столкновениях ( $\beta_{pp}^{\pi^0} = 7.30 \pm 0.28$ ,  $\beta_{\bar{p}p}^{\pi^0} = 5.75 \pm 0.04$ ). Полученный результат указывает на разные, но имеющие сходные свойства, механизмы рождения  $\pi^0$  мезонов в данных столкновениях.

Энергетическая независимость и степенное поведение  $\psi$  для инклюзивного рождения нейтральных мезонов в  $p + p$  столкновениях подтверждается новыми экспериментальными данными при энергии столкновения  $\sqrt{s} = 200$  ГэВ, полученными на RHIC [4, 5], (рис. 2 (в)).

Установленные свойства  $z$  скейлинга позволяют предсказывать спектры нейтральных мезонов в  $p(\bar{p}) + p$  взаимодействиях при энергиях RHIC, Tevatron и LHC.

На рис. 2 (г) приведены инклюзивные спектры  $\pi^0$  мезонов в  $p + p$  взаимодействиях при энергиях  $\sqrt{s} = 200, 500$  ГэВ. Показывается возможность использования  $z$ -скейлинга для поиска новых физических закономерностей, проявление которых будет выражаться в изменении наклона скейлинговой функции в области ее асимптотического поведения (при  $z > 4$ ).

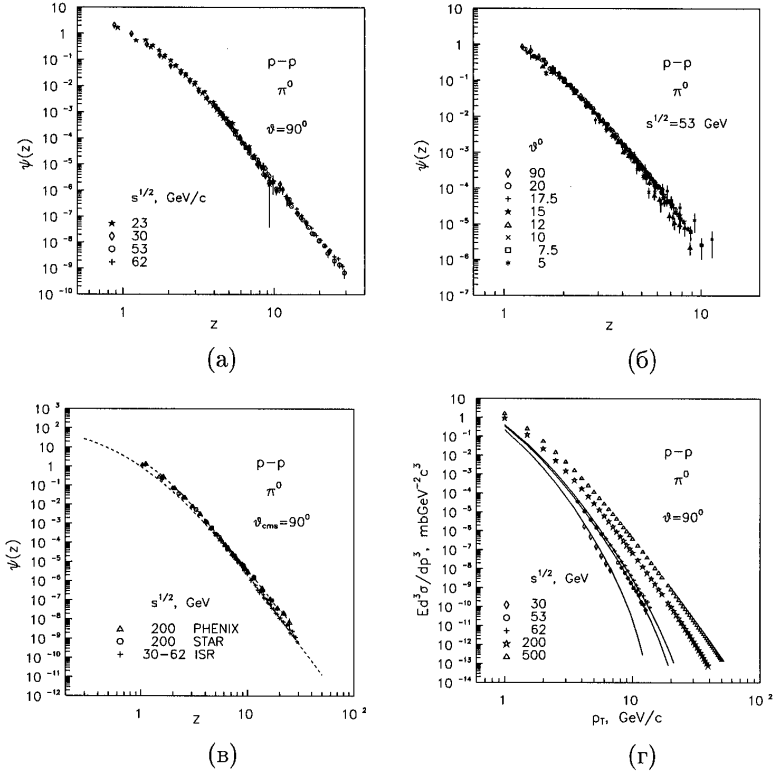


Рис. 2: Зависимость скейлинговой функции  $\psi(z)$  от  $z$  для инклюзивного рождения  $\pi^0$  мезонов в  $p + p$  столкновениях при энергии  $\sqrt{s} = (23 - 62)$  ГэВ и угле  $\theta = 90^\circ$  [2](а), энергии  $\sqrt{s} = 53$  ГэВ и угле  $\theta = 5^\circ - 90^\circ$  [3] (б), энергии  $\sqrt{s} = (30 - 200)$  ГэВ и  $\theta = 90^\circ$  [2] - [5] (в). Зависимость сечения рождения  $\pi^0$  мезонов в  $p + p$  столкновениях от поперечного импульса  $p_T$  (г). Символы  $\star, \Delta$  и сплошные линии - предсказания сечений для различных энергий, полученные на основе  $z$  скейлинга. Экспериментальные данные обозначены символами  $\diamond, \circ$  и  $+$  [2].

**В четвертой главе** приведены результаты анализа в рамках концепции  $z$  скейлинга данных по инклюзивному рождению  $\pi^0$  мезонов в  $p + A$  взаимодействиях. Описывается построение скейлинговой функции  $\psi(z)$  и переменной  $z$ . Определяют-

ся аномальные фрактальные размерности ядер  $\delta_A = \delta_N A$  ( $\delta_N$  - фрактальная размерность нуклона) и преобразование  $z \rightarrow \alpha z$ ,  $\psi \rightarrow \alpha^{-1} \psi$ , позволяющее сравнивать скейлинговые функции для различных ядер. Приведено описание анализируемых экспериментальных данных (типы мишеней - *Be, C, Al, Cu, Au*, кинематические диапазоны измеренных спектров  $\sqrt{s} = (19 - 38)$  ГэВ,  $p_T = (0.45 - 12)$  ГэВ/с,  $\theta = 90^\circ$ ). Отмечается сильная зависимость инклюзивных сечений от энергии столкновения, которая еще более усиливается с увеличением поперечного импульса регистрируемой инклюзивной частицы.

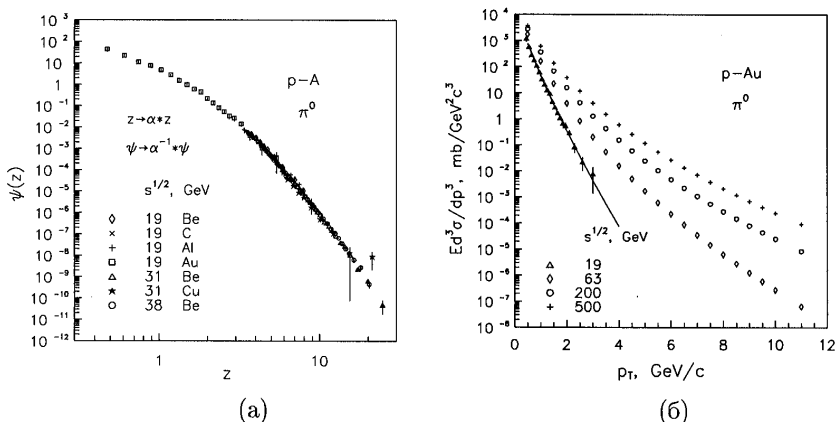


Рис. 3: (а) - Зависимость скейлинговой функции  $\psi(z)$  от  $z$  для  $\pi^0$  мезонов, рожденных в  $p + A$  взаимодействиях при энергии  $\sqrt{s} = (19 - 38)$  ГэВ [6]-[9]. (б) - Инклюзивные сечения рождения  $\pi^0$  мезонов в  $p + Au$  столкновениях в зависимости от поперечного импульса  $p_T$  при различных энергиях столкновения  $\sqrt{s} = (19 - 500)$  ГэВ и угле регистрации  $\theta=90^\circ$  частицы. Символы  $\diamond$ ,  $\circ$ ,  $+$  и сплошные линии - предсказания,  $\triangle$  - экспериментальные данные [7].

Исследуются свойства  $z$  представления инклюзивных сечений рождения  $\pi^0$  мезонов в  $p + A$  взаимодействиях при высоких энергиях. Установлена энергетическая независимость скейлинговой функции  $\psi(z)$  (рис. 3(а)) и  $A$ -зависимость преобразования  $z \rightarrow \alpha(A)z$ ,  $\psi \rightarrow \alpha(A)^{-1}\psi$  (рис. 4(а)). Так как коэффициент  $\alpha(A)$  не зависит от кинематических переменных, то это является свидетельством самоподобного характера образования частиц в ядерной среде. При больших значениях  $z > 4$  обнаруживается указание на асимптотическое поведение  $d\beta/dz \rightarrow const$ , в то время как при малых значениях  $z$  наблюдается изменение параметра наклона  $\beta$  скейлинговой функции. Полученный результат указывает на проявление жесткого ( $z > 4$ ) и мягкого ( $z < 4$ ) режимов в процессе образования  $\pi^0$  мезонов в протон-ядерных взаимодействиях. Степенное поведение  $\psi(z)$  указывает на фрактальный характер образования частиц при больших  $z$ , соответствующих большим поперечным им-

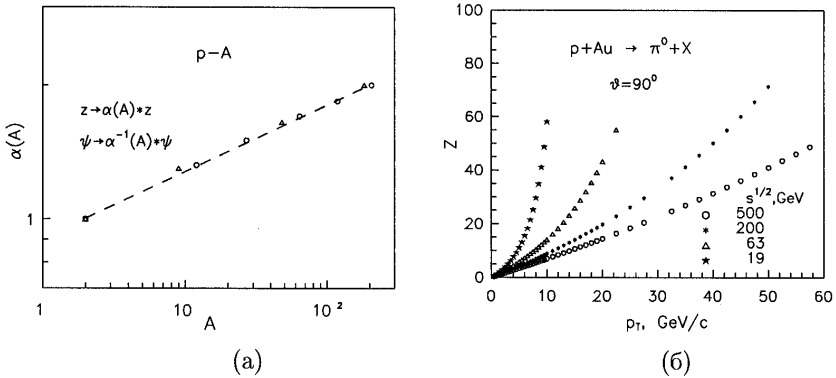


Рис. 4: (а) -  $A$ -зависимость параметра преобразований  $\alpha(A)$  для  $p + A$  взаимодействий. Пунктирная линия получена фитом данных для заряженных ( $\circ - h^\pm$ ) [1] адронов, символы  $\triangle$ , соответствуют  $\pi^0$  мезонам. (б) - Зависимость переменной  $z$  от поперечного импульса  $p_T$  для  $\pi^0$  мезонов, рожденных в  $p + Au$  столкновениях при различных энергиях  $\sqrt{s} = (19 - 500)$  ГэВ и угле  $\theta = 90^\circ$ .

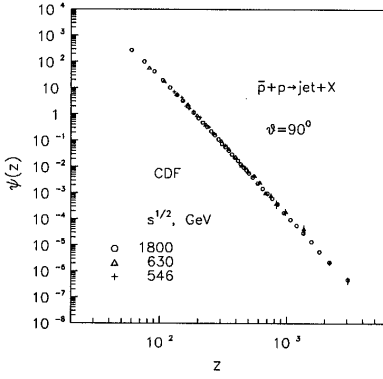
пульсам  $p_T$ .

Установленные свойства скейлинговой функции использованы для проведения предсказательных расчетов спектров  $\pi^0$  мезонов в  $p + A$  взаимодействиях при энергиях RHIC, которые представляют интерес для сравниться с будущими экспериментальными данными. На рис. 3(б) приведены импульсные спектры  $\pi^0$  мезонов в  $p + Au$  взаимодействиях в диапазоне энергий  $\sqrt{s} = (63 - 500)$  ГэВ.

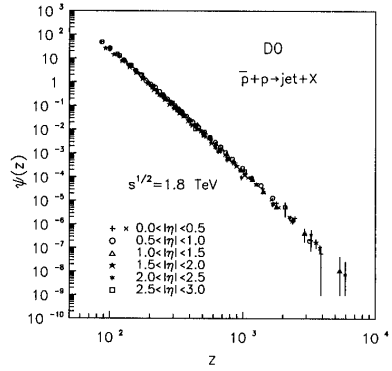
Обсуждается возможное нарушение  $z$ -скейлинга в протон-ядерных взаимодействиях, которое будет выражаться в изменении значения аномальной фрактальной размерности ядер  $\delta_A$  и наклона скейлинговой функции в области ее асимптотического поведения. Возможные нарушения могут рассматриваться как указания на новые физические закономерности, такие как фазовые переходы адронной и ядерной материи, подавление рождения частиц с большими поперечными импульсами в ядерной среде. Предложена объединенная кинематическая и динамическая зависимость ( $z - p_T$  зависимость) (рис. 4(б)) для выбора области, где поиск нарушения  $z$  скейлинга наиболее оптимален. Результаты анализа экспериментальных данных указывают на существование скейлинга вплоть до  $z = 20$ .

**В пятой главе** приведены и обсуждаются результаты анализа экспериментальных данных по рождению струй в  $p(\bar{p}) + p$  взаимодействиях на коллайдерах ISR, Sp̄pS и Tevatron в рамках  $z$  скейлинга. Описывается построение скейлинговой функции  $\psi(z)$  и переменной  $z$ .

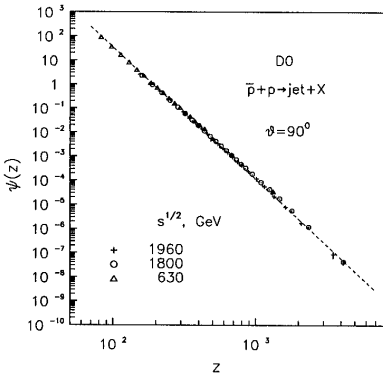
Описана кинематическая область исследуемых спектров струй -  $\sqrt{s} = (38 - 1960)$  ГэВ,  $p_T = (5 - 500)$  ГэВ/с и  $|\eta| < 3$ . Отмечается зависимость сечения струй от энергии  $\sqrt{s}$  и псевдобыстроты  $\eta$  усиливающаяся с ростом поперечной энергии струи.



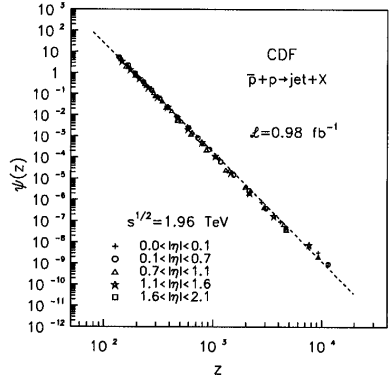
(a)



(б)



(в)



(г)

Рис. 5: Зависимость скейлинговой функции  $\psi(z)$  от  $z$  для инклюзивного рождения струй в  $\bar{p} + p$  столкновениях при энергиях  $\sqrt{s} = 546, 630, 1800$  ГэВ и  $\theta = 90^\circ$  [10, 11] (а), при энергии  $\sqrt{s} = 1800$  ГэВ и  $|\eta| < 3$  [12] (б), при энергии  $\sqrt{s} = 630, 1800, 1960$  ГэВ и  $\theta = 90^\circ$  [11] (в), при энергии  $\sqrt{s} = 1960$  ГэВ и  $|\eta| < 2.1$  [13] (г). Пунктирные линии - результат фита данных степенной функцией,  $\psi(z) = a_0 \cdot z^{-\beta}$

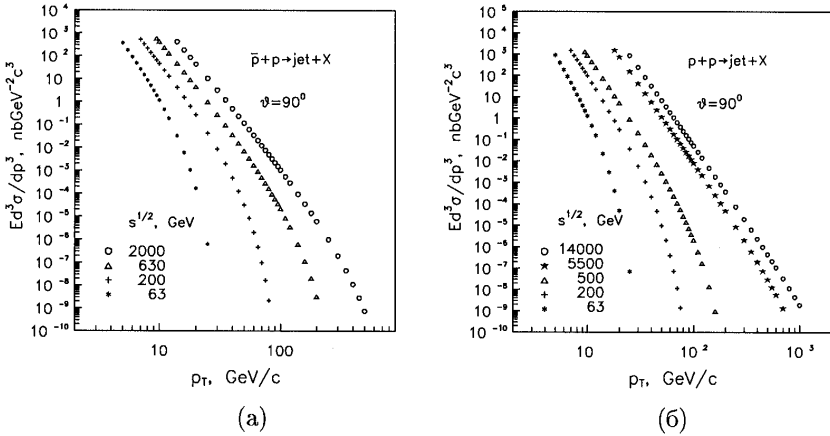


Рис. 6: Сечения рождения струй в  $\bar{p}+p$  (а) и  $p+p$  (б) взаимодействиях в зависимости от поперечного импульса  $p_T$  для различных энергий  $\sqrt{s}$  и угле  $\theta=90^0$ . Точки - результат расчета, основанный на свойствах  $z$  скейлинга.

Получено  $z$ -представление экспериментальных данных по импульсным спектрам струй. Установлены энергетическая (рис. 5(а)), угловая (рис. 5(б)) независимость и степенное поведение скейлинговой функции  $\psi(z)$  при больших  $z$ . Степенная зависимость  $\psi(z)$  указывает на фрактальный характер процесса рождения струй. Существование двух различных областей поведения  $\psi(z)$  является отражением жесткого ( $z > 70$ ) и мягкого ( $z < 70$ ) режимов процесса образования частиц, формирующих струю. Сравнение свойств  $z$  представления процесса рождения струй в  $p + p$  и  $\bar{p} + p$  взаимодействиях показало, что значение параметров наклона  $\beta$  скейлинговой функции для струй в этих взаимодействиях различны ( $\beta_{pp}^{Jet} = 5.95 \pm 0.21$ ,  $\beta_{\bar{p}p}^{Jet} = 5.26 \pm 0.12$ ). Как и в случае рождения  $\pi^0$  мезонов, наклон функции  $\psi(z)$  в  $p + p$  взаимодействиях больше, чем в  $\bar{p} + p$ . Этот результат указывает не только на различие в механизмах рождения струи в  $p + p$  и  $\bar{p} + p$  взаимодействиях, но также и на сходство свойств механизма формирования струи (самоподобие и фрактальность).

Экспериментальные данные, полученные на Tevatron при энергии  $\sqrt{s} = 1960$  ГэВ, позволяют провести проверку установленных свойств  $z$  скейлинга для рождения струй в  $p(\bar{p}) + p$  взаимодействиях, установленных ранее при меньших энергиях. На рис. 5(в,г) представлены новые данные коллабораций CDF и D0 по сечениям рождения струй в  $z$  представлении, подтверждающие энергетическую, угловую независимость и степенное поведение скейлинговой функции  $\psi(z)$ .

Установленные скейлинговые закономерности инклюзивного рождения струй позволили предсказать спектры струй в  $p(\bar{p}) + p$  взаимодействиях в различных

кинематических диапазонах при энергиях RHIC, Tevatron и LHC.

Результаты предсказаний показаны на рис. 6(а,б). В данной главе обсуждается также возможность нарушения  $z$ -скейлинга, вследствие проявления новых физических явлений, таких как фазовый переход адронной материи. Предполагается, что такое нарушение будет проявляться в изменении наклона скейлинговой функции  $\psi(z)$  в области ее асимптотического поведения при больших значениях  $z$ .

**В шестой главе** представлены результаты Монте Карло анализа рождения струй в  $p + p$  взаимодействиях при энергии  $\sqrt{s} = 200$  ГэВ. Описан механизма генерации струй в программе PYTHIA. Показано влияние внутренних параметров программы на поперечные спектры частиц и описан метод корректировки данного влияния на распределений событий по поперечной энергии струи. В качестве параметров алгоритма реконструкции струи используются следующие величины:  $E_{seed}$  - энергия инициатора струи,  $E_{cut}$  - минимальная энергия струи и  $R$  - радиус струи в пространстве  $\eta, \phi$ . Приводится описание конусного алгоритма реконструкции струй, воспроизводящего основные шаги D0-экспериментального алгоритма и учитывающего возможность перекрытия многих струй.

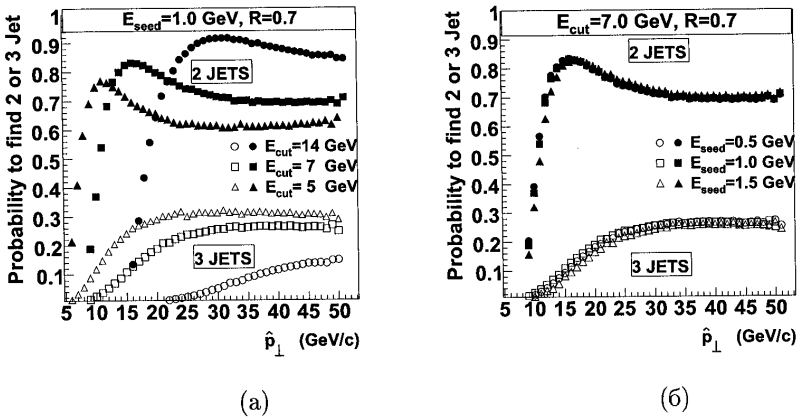
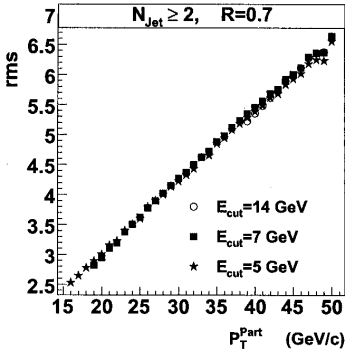


Рис. 7: Зависимость вероятности выделения двух или трех струй от поперечного импульса жесткого процесса  $\hat{p}_\perp$  для различных значений  $E_{cut}$  (а),  $E_{seed}$  (б).

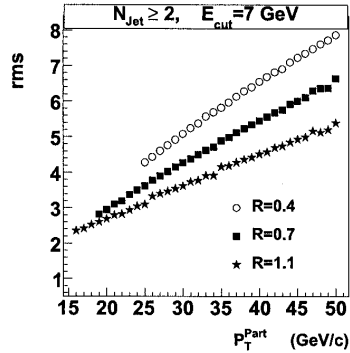
Исследовано влияние значений параметров алгоритма на зависимость вероятности реконструкции  $N$ -струй в событии и их характеристики от поперечного импульса жесткого процесса  $\hat{p}_\perp$ . Установлено, что параметр  $E_{seed} = (0.5 - 1.5)$  ГэВ не влияет на вероятность выделения двух и трех струй в событии, а параметры  $E_{cut}$ ,  $R$  изменяют тип реконструированных событий (1, 2, ...,  $N$ -струйные).

На рис. 7 приводятся зависимости вероятности выделения двух и трех струй от параметров  $E_{seed}$  (рис. 7(а)) и  $E_{cut}$  (рис. 7(б)). Показано, что точность восстановления двумя лидирующими струями (в  $N$ -струйных событиях) поперечного

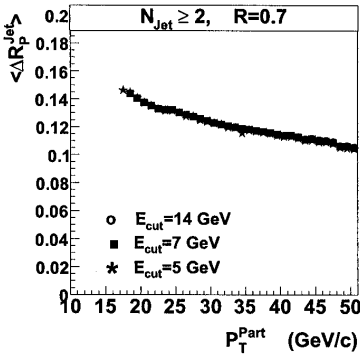
импульса  $P_T^{Part}$  и направления жестко рассеянного партона не зависит от параметра алгоритма  $E_{cut}$  при  $R=0.7$  (рис. 8(а,б)) и чувствительна к величине параметра  $R$  (рис.8(в,г)). Для характеристики точности восстановления поперечного импуль-



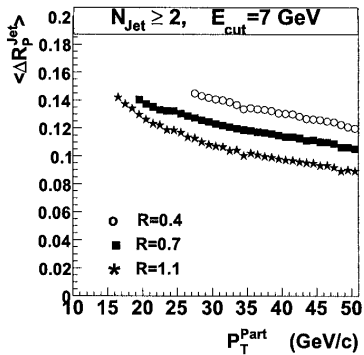
(а)



(б)



(в)



(г)

Рис. 8: Зависимость  $rms$  и  $\langle \Delta R_{part}^{Jet} \rangle$  от  $P_T^{Part}$  для двух лидирующих струй в  $N$ -струйных событиях при различных значениях  $E_{cut}$  (а,в) и  $R$  (б,г).

са партона  $P_T^{Part}$  используется ширина распределения  $rms$  количества событий по поперечной энергии струи  $E_T^{Jet}$  для узкого диапазона значений  $P_T^{Part}$  как функция  $P_T^{Part}$  (рис. 8(а,в)). Среднее отклонение оси струи от направления соответствующего жестко рассеянного партона  $\langle \Delta R_{part}^{Jet} \rangle$  как функция  $P_T^{Part}$  (рис. 8(б),г)) выбрано для определения точности восстановления направления партона.

В данной главе исследовано влияние параметров алгоритма на сечение рождения струй в  $p_T$  и  $z$  представлениях. Показано, что спектры струй зависят от



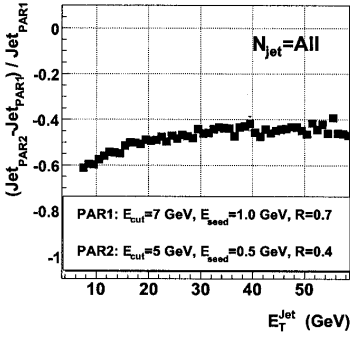
параметров алгоритма реконструкции струй в области  $E_T^{Jet} < 25$  ГэВ. На рис. 9(а) приведена зависимость отношения  $(Jet_{Par2} - Jet_{Par1})/Jet_{Par1}$  сечений рождения струй от  $E_T^{Jet}$ , реконструированных при использовании наборов параметров PAR1 и PAR2 (PAR1:  $E_{cut}=7$  ГэВ,  $E_{seed}=1$  ГэВ,  $R=0.7$ ; PAR2:  $E_{cut}=5$  ГэВ,  $E_{seed}=0.5$  ГэВ,  $R=0.4$ ). Установлено, что наибольшее отличие сечений проявляется в области, в которой доминируют одноструйные события. На рис. 9(б) представлено отношение  $Jet_N/Jet_{All}$  сечений рождения  $N$ -струйных событий к полному сечению в зависимости от  $E_T^{Jet}$ .

Проведено сравнение экспериментальных данных по сечениям рождения струй, полученных коллаборацией STAR [14], и результатами моделирования программой PYTHIA. Получено хорошее согласие экспериментальных данных с результатами проведенного анализа (рис. 9(в)). Результаты исследования  $z$  представления показали независимость величины наклона  $\beta$  функции  $\psi(z)$  в области  $E_T^{Jet} = 25 - 60$  ГэВ (рис. 9(г)). Однако проверка асимптотического поведения скейлинговой функции в области больших  $z$  с использованием данных RHIC показала, что для получения убедительного заключения о величине наклона  $\psi(z)$  необходимо измерение спектров струй в области  $E_T^{Jet} > 25$  ГэВ с большей статистической обеспеченностью.

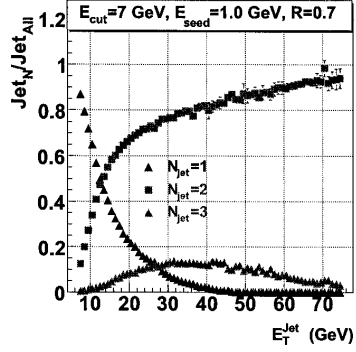
**В заключении** сформулированы основные физические и методические результаты диссертационной работы:

- Проведено обобщение теории  $z$  скейлинга на описание инклюзивного рождения нейтральных мезонов и струй. Впервые, используя экспериментальные данные по инклюзивным сечениям рождения, построены скейлинговые функции  $\psi(z)$  и переменная  $z$  для рождения  $\pi^0$  мезонов в  $p + p(\bar{p}, A)$  взаимодействиях,  $\eta^0$  мезонов в  $p + p$  и струй в  $p + p(\bar{p})$  столкновениях. Подтверждены результаты по скейлинговым закономерностям рождения заряженных адронов в  $p + p(A)$  столкновениях.

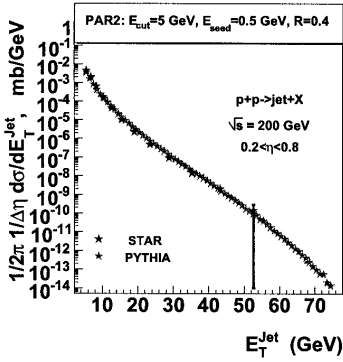
- Установлены свойства  $z$  представления экспериментальных данных для рассматриваемых процессов - энергетическая, угловая независимость и существование двух областей различного поведения скейлинговой функции  $\psi(z)$ . Установлено степенное поведение функции  $\psi(z) \sim z^{-\beta}$  при больших значениях  $z$  и отклонение от данной зависимости в области малых  $z$ . Полученный результат интерпретируется как проявление жесткого и мягкого режима процесса образования частиц (струй). Степенной характер функции  $\psi(z)$  согласуется с идеей о фрактальном характере процесса рождения частиц (струй). С уменьшением величины фрактальной меры  $z$  уменьшается разрешение, при котором структура элементарного столкновения может быть выделена из рассматриваемого взаимодействия. В настоящее время есть основания предполагать, что это общее свойство образования частиц при больших  $z$ . Поэтому экспериментальная проверка установленной закономерности представляет значительный интерес для развития моделей описывающих рождение частиц. Установлено отличие параметров наклона  $\beta$  скейлинговой функции  $\psi(z)$  для  $\pi^0$  мезонов и струй в  $p + p$  и  $\bar{p} + p$  столкновения ( $\beta_{pp} > \beta_{\bar{p}p}$ ). Этот результат свидетельствует о существенном различии подпроцессов инициирующих рождение частиц (струй) на малых масштабах. Установлена  $A$ -зависимость преобразования  $z \rightarrow \alpha(A)z$ ,  $\psi \rightarrow \alpha^{-1}(A)\psi$ , используемого при сравнении функций



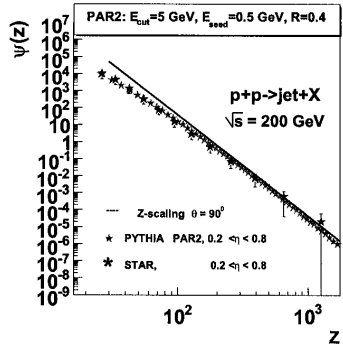
(a)



(б)



(в)



(г)

Рис. 9: Зависимость отношения  $(Jet_{PAR2} - Jet_{PAR1})/Jet_{PAR1}$  инклюзивных сечений рождения струй от  $E_T^{Jet}$  (а). Отношение  $Jet_N/Jet_{All}$  сечений  $N$ -струйных событий к полному сечению в зависимости от  $E_T^{Jet}$  (б). Зависимость инклюзивных сечений струй от поперечной энергии струи  $E_T^{Jet}$  (в). Зависимость скейлинговой функции  $\psi(z)$  от переменной  $z$ . Символы  $*$  - экспериментальные данные, полученные коллаборацией STAR [14] (г).

$\psi(z)$  для различных ядер. Полученный результат, поддерживает гипотезу о самоподобном характере влияния ядерной среды на механизм формирования частиц с большими поперечными импульсами.

- На основе установленных свойств  $z$ -скейлинга предсказаны импульсные спектры  $\pi^0$  мезонов в  $p + p$ ,  $\bar{p} + p$  и  $p + A$  взаимодействиях, спектры  $\eta^0$  мезонов  $p + p$  и струй в  $p + p$  и  $\bar{p} + p$  столкновениях.

- На основе экспериментальных данных RHIC получено подтверждение энергетической независимости скейлинговой функции и ее степенного поведения для  $\pi^0$  мезонов в  $p + p$  взаимодействиях вплоть до энергии столкновения 200 ГэВ и поперечного импульса 20 ГэВ/с. Данные по рождению струй на Tevatron при энергии 1960 ГэВ подтвердили энергетическую, угловую независимости и степенное поведение скейлинговой функции  $\psi(z)$  при больших значениях  $z$  для рождения струй в  $\bar{p} + p$  взаимодействиях.

- Установлена принципиальная возможность поиска и изучения новых физических закономерностей, таких как фазовый переход адронной и ядерной материи и др., проявляющихся в нарушении установленных скейлинговых закономерностей. Изменение параметра наклона  $\beta$  скейлинговой функции  $\psi(z)$  в области ее асимптотического поведения и значения фрактальной размерности ядер  $\delta_A$  могут служить количественной характеристикой нарушения  $z$ -скейлинга. Предложена объединенная кинематическая и динамическая зависимость ( $z - p_T$ -зависимость) для выбора области, где поиск возможного нарушения  $z$  скейлинга оптимален.

- Исследовано влияние параметров конусного алгоритма реконструкции струй на количество выделяемых в событии струй и их характеристики. Показано, что параметр  $E_{seed} = (0.5 - 1.5)$  ГэВ не влияет, а параметры  $E_{cut}$ ,  $R$  изменяют тип реконструированных событий (1-, 2-,...N-струйные). Установлено, что точность восстановления двумя лидирующими струями (в N-струйных событиях) поперечного импульса и направления жестко рассеянного партона не зависит от параметра  $E_{cut}$  при  $R = 0.7$  и чувствителен к величине  $R$ . Данные характеристики для двухструйных событий зависят как от  $E_{cut}$ , так и  $R$ .

- Установлена зависимость сечений рождения струй в  $p + p$  взаимодействиях при  $\sqrt{s} = 200$  ГэВ в области  $E_T^{Jet} < 25$  ГэВ в  $p_T$  и  $z$  представлениях от параметров конусного алгоритма. Для двухструйных событий эта область уменьшается до  $E_T^{Jet} < 15$  ГэВ. Показано отсутствие влияния параметров алгоритма на наклон  $\beta$  скейлинговой функции в диапазоне  $E_T^{Jet} = (25 - 60)$  ГэВ. Для более точной проверки асимптотического поведения скейлинговой функции  $\psi(z)$  при энергии 200 ГэВ на RHIC необходимо увеличение статистики экспериментальных данных в диапазоне  $E_T^{Jet} > 25$  ГэВ.

## Список публикаций

[1] M.V. Tokarev and T.G. Dedovich:  **$z$ -Scaling and Jet production in hadron-hadron collisions at high energies** *Int. J. Mod. Phys. A* **15**, 3495 (2000).

[2] M.V. Tokarev, O.V. Rogachevski and T.G. Dedovich: **Scaling Features of  $\pi^0$ -meson production in high-energy  $p + p$ -collisions.** *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **26**, 1671 (2000).

[3] M.V. Tokarev, O.V. Rogachevski and T.G. Dedovich: **A-dependence of  $\pi^0$ -meson production in proton-nucleus and nucleus-nucleus collisions at high energy.** *JINR Commun.* E2-2000-90, 2000 (Dubna).

[4] M.V. Tokarev and T.G. Dedovich:  **$z$ -Scaling of Jet production at the Tevatron.** *Preprint JINR-E2-2004-188*, 2004 (Dubna); *Proceeding of the XVII International Seminar on High Energy Physics Problems (ISHEPP XVII). Relativistic nuclear physics and quatum chromodynamics vol. II, 173. Editors: A.N. Sissakian, V.V. Burov, A.I. Malakhov.*

[5] Т.Г. Дедович и М.В. Токарев: **Влияние параметров конусного алгоритма на эффективность и характеристики реконструированных струй в  $p + p$ -взаимодействиях при энергии  $\sqrt{s} = 200$  ГэВ.** *Письма в ЭЧАЯ* **4**, 4, 140 (2007); *Preprint JINR-P2-2006-108*, 2006 (Dubna).

[6] M.V. Tokarev and T.G. Dedovich: **Verification of  $z$ -scaling at RHIC and Tevatron.** *ЯФ* **68**, 3, 433 (2005).

[7] T.G. Dedovich and M.V. Tokarev: **Jet in  $p + p$  collisions at RHIC and MC study of  $z$ -scaling.** *Proceeding of the XVIII International Seminar on High Energy Physics Problems (ISHEPP XVIII, Dubna, Russia, September 25-30, 2006)*, *arXiv:0708.2465v1 [hep-ph]*.

[8] M.V. Tokarev, I. Zborovsky and T.G. Dedovich:  **$z$ -Scaling at RHIC and Tevatron.** *Proceeding of the XVIII International Seminar on High Energy Physics Problems (ISHEPP XVIII, Dubna, Russia, September 25-30, 2006)*, *arXiv:0708.2464v1 [hep-ph]*.

# Литература

- [1] M.V. Tokarev *et al.*, *Int. J. Mod. Phys. A* **16**, 1281 (2001).
- [2] A.L.S. Angelis *et al.*, *Phys. Lett B* **79**, 505, (1978).
- [3] D. Lloyd Owen *et al.*, *Phys. Rev. Lett* **45**, 89 (1980).
- [4] H. Buesching (PHENIX Collab.) *Hot Quark06*, May 15-20, 2006, Sardinia, Italy.
- [5] D.Relyea (STAR Collab.) *RHIC & AGS Annual User Meeting*, June 8-9, 2006, BNL.
- [6] J. Povlis *et al.*, *Phys. Rev. Lett* **51**, 967 (1983).
- [7] R. Albrecht *et al.* (WA80 Collab.), *Z. Phys. C* **47**, 367 (1990).
- [8] G. Alverson *et al.* (E706 Collab.), *Phys. Rev. D* **48**, 5 (1993).
- [9] L. Apanasevich *et al.* (E706 Collab.), *Phys. Rev. Lett.* **81**, 2642 (1998).
- [10] F. Abe *et al.* (CDF Collab.), *Phys. Rev. Lett.* **70**, 1376 (1993).
- [11] B. Abbott *et al.* (D0 Collab.), *Phys. Rev. D* **64**, 032003 (2001).
- [12] D. Elvira (D0 Collab.), *PhD. Thesis* Universidad de Buenos Aires, Argentina (1995).
- [13] M. D'Onofrio (CDF, D0 Collab.), *XX Rencontres de Physique de la Vallee D'Aoste*; <http://www.pi.infn.it/lathuille/2006/Programme.htm>.
- [14] M.L. Miller (for the STAR Collab.), *e-Print Archive* hep-ex/0604001.

Получено 10 сентября 2007 г.

Отпечатано методом прямого репродуцирования  
с оригинала, предоставленного автором.

Подписано в печать 10.09.2007.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,37. Уч.-изд. л. 1,86. Тираж 100 экз. Заказ № 55876.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@jinr.ru](mailto:publish@jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)