

УДК 536.421

Д.А. Иванищев ¹, А.Е. Иванов ¹, Д.О. Котов ²¹ Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова² Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

РОЖДЕНИЕ K^* И ω -МЕЗОНОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ ЯДЕР ДЕЙТЕРИЯ И ЗОЛОТА ПРИ ЭНЕРГИИ 200 ГэВ

В статье представлены результаты измерения инвариантных спектров по поперечному импульсу и факторов ядерной модификации для $K^*(892)$ - и ω -мезонов в столкновениях ядер дейтерия и золота при энергии 200 ГэВ. Произведено сравнение полученных результатов с измерениями рождения других легких мезонов, таких как π^0 -, K_s^- , η -, η' - и ϕ -мезонов. Проведено систематическое исследование спектров рождения мезонов в центральных столкновениях ядер дейтерия и золота.

СТОЛКНОВЕНИЯ ЯДЕР, МЕЗОНЫ, РОЖДЕНИЕ, ЛЕГКИЕ КВАРКИ, АНАЛИЗ.

Введение

Значительное подавление выхода адронов по отношению к их выходам в протон-протонных взаимодействиях, умноженных на соответствующее число парных неупругих нуклон-нуклонных взаимодействий, в столкновениях тяжелых ультрарелятивистских ядер вначале было обнаружено на ускорителе RHIC [1], а затем и на ускорителе LHC [2]. В области больших поперечных импульсов ($p_T > 5$ ГэВ/с) в центральных столкновениях ядер золота при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ выходы адронов подавлены примерно в пять раз. В центральных столкновениях ядер свинца при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 2,76$ ТэВ в области поперечных импульсов (5 – 6 ГэВ/с) адроны подавлены в семь раз, и степень подавления уменьшается с увеличением поперечного импульса, достигая значения, близкого к двум, при $p_T > 40$ ГэВ/с. В области больших поперечных импульсов (более 5 – 6 ГэВ/с) выходы адронов одинаково подавлены и степень подавления не зависит от типа, массы и кваркового состава частицы. В то же время в области промежуточных поперечных импульсов (2 – 5 ГэВ/с) наблюдается зависи-

мость степени подавления выхода адронов от их типа и кваркового состава. Для объяснения подобной зависимости необходимо разделить влияние эффектов начального и конечного состояний на свойства рождающихся частиц. Одним из возможных способов изучения эффектов начального состояния является систематическое исследование рождения адронов в столкновениях тяжелых и легких ядер, например дейтерия и золота ($d + Au$) или протонов и ядер свинца ($p + Pb$). В недавно полученных экспериментальных данных о рождении адронов в ($p + Pb$)-столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ ТэВ наблюдается избыток выхода адронов в области промежуточных поперечных импульсов. Данное наблюдение может свидетельствовать о существенном влиянии коллективных эффектов, наблюдаемых в ($p + Pb$)- [3] и ($d + Au$)- [1] столкновениях, на свойства рождающихся адронов в этой области поперечных импульсов.

В настоящей работе представлены результаты измерения инвариантных спектров по поперечному импульсу и факторов ядерной модификации для $K^*(892)$ - и ω -мезонов в столкновениях ядер дейтерия

и золота при энергии $\sqrt{S_{NN}} = 200$ ГэВ. Измерения выполнены на экспериментальной установке PHENIX на ускорителе RHIC [4] в области быстрот $|y| < 0,35$. Результаты сравниваются со спектрами рождения и факторами ядерной модификации для π^0 -, K_s^- -, η -, η' - и ϕ -мезонов. Произведено систематическое исследование спектров рождения легких мезонов в $(d + Au)$ -столкновениях.

Отбор данных и методика измерений

Исследование рождения ω - и K^* -мезонов с помощью экспериментальной установки PHENIX осуществлялось в каналах распадов $\omega \rightarrow \pi^0 + \pi^+ + \pi^-$ и $K^* \rightarrow K^\pm + \pi^\mp$. При этом анализировалась выборка данных, накопленная экспериментом PHENIX во время физической работы ускорителя RHIC в 2008 г. Размер выборки данных соответствует светимости 81 нбарн^{-1} [1].

Количество рожденных мезонов с поперечным импульсом p_T в интервале быстрот Δy в столкновении ядер определяется инвариантным выходом $Y_{\text{инв}}(p_T)$, который вычисляется по следующей формуле [5]:

$$Y_{\text{инв}}(p_T) = \frac{1}{2\pi p_T} \frac{d^2 N}{dp_T dy} = \frac{N(p_T)}{2\pi p_T N_{\text{собр}} \varepsilon(p_T) \text{Вг} \Delta p_T \Delta y},$$

где p_T — поперечный импульс мезона; y — быстрота; $N(p_T)$ — число мезонов, зарегистрированных с помощью экспериментальной установки (так называемый выход мезонов); Δp_T — диапазон поперечных импульсов, в пределах которого определяется выход мезонов; $\varepsilon(p_T)$ — функция коррекции, учитывающая геометрический акцептанс, разрешение, эффективность работы детекторных подсистем экспериментальной установки PHENIX, а также влияние множественности частиц на эффективность регистрации мезонов; $N_{\text{собр}}$ — число анализируемых столкновений ядер; Вг — вероятность распада по исследуемому каналу, которая составляет почти 66% для канала распада $K^* \rightarrow K^\pm + \pi^\mp$ и 89,2% для $\omega \rightarrow \pi^0 + \pi^+ + \pi^-$ [6].

Канал распада $\omega \rightarrow \pi^0 + \pi^+ + \pi^-$ имеет нейтральный пион в конечном состоя-

нии, который представляет собой короткоживущую частицу, распадающуюся на два γ -кванта с вероятностью $98,823 \pm 0,034$ % [6]. Поэтому для определения выхода ω -мезонов вначале были восстановлены основные характеристики π^0 -мезонов по методике, описанной в работах [4, 5]. В пары объединялись только те γ -кванты, энергия которых превышала 0,2 ГэВ. Требовалось, чтобы поперечный импульс пары был больше 1 ГэВ/с. Затем нейтральные пионы, прошедшие критерии отбора, в пределах одного зарегистрированного столкновения комбинировались с парами положительно и отрицательно заряженных частиц. Выход ω -мезонов определялся путем аппроксимации спектра инвариантной массы триплетов $\pi^0\pi^+\pi^-$ функцией, состоящей из суммы полинома второй степени и функции Гаусса. Интеграл функции Гаусса брался в качестве показателя выхода ω -мезонов. Пример результата аппроксимации спектра инвариантной массы триплетов $\pi^0\pi^+\pi^-$ с поперечным импульсом $6 < p_T < 7$ ГэВ/с, показан на рис. 1, а.

Усредненное значение инвариантных выходов K^* - и анти K^* -мезонов ($K^* + \text{анти}K^*$)/2 берется как итоговое значение инвариантного выхода K^* -мезонов. Выходы K^* - и анти K^* -мезонов измеряются в адронных каналах распада $K^+ + \pi^-$ и $K^- + \pi^+$. Для этого разнозаряженные частицы, зарегистрированные в одном столкновении, комбинируются в пары. Учитываются только частицы, поперечный импульс которых больше 0,3 ГэВ/с. Считается, что заряженная частица является каоном либо пионом, и в зависимости от исследуемого канала распада и ее заряда ей приписывается масса заряженного каона либо пиона. Для увеличения статистической значимости экспериментальных данных в широкой области поперечных импульсов спектры инвариантной массы пар $K^\pm\pi^\mp$ восстанавливаются в рамках трех следующих различных подходов [7]:

без идентификации частиц. В пары комбинируются все разнозаряженные частицы, получивших свое подтверждение в третьем слое падовых камер или электромагнитном калориметре;

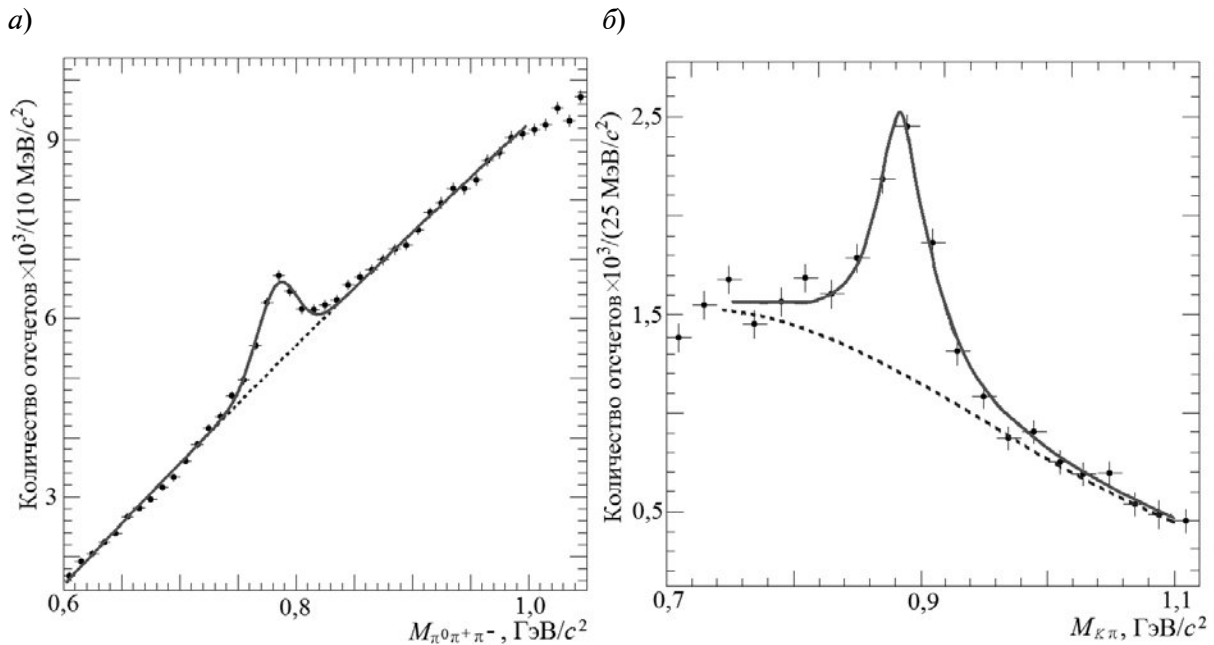


Рис. 1. Спектры инвариантной массы триплетов $\pi^0\pi^+\pi^-$ (а) и разнозаряженных пар $K\pi$ -мезонов (б). Спектры аппроксимированы функцией, состоящей из суммы полинома второй степени (пунктир) и функции Гаусса (а) либо из суммы полинома третьей степени (пунктир) и функции Брейта – Вигнера, свернутой с функцией Гаусса (б)

с идентификацией пионов и каонов. В данном случае в пары объединяются только частицы, идентифицированные как каоны или пионы. Идентификация частиц осуществляется времяпролетной системой экспериментальной установки PHENIX;

с идентификацией каона. В данном подходе требуется, чтобы одна из частиц пары была идентифицирована как каон, а другая частица получила подтверждение своей проекции в третьем слое падовых камер детектора PHENIX.

Комбинаторный фон [5] в спектре инвариантной массы пар $K^\pm\pi^\mp$ максимален в области малых поперечных импульсов и уменьшается с его ростом. Большой уровень комбинаторного фона в области малых поперечных импульсов (менее 2 – 3 ГэВ/с) не позволяет выделить сигнал в спектре, восстановленном без идентификации частиц. В области значений поперечных импульсов более 2 – 3 ГэВ/с величина полезного сигнала ограничена только накопленной статистикой. Использование подхода с идентификацией заряженных частиц позволяет существенно уменьшить количество фоно-

вых отсчетов. Ввиду ограниченности аксептанса времяпролетной системы и методики идентификации заряженных частиц, данный подход позволяет восстанавливать спектры инвариантной массы разнозаряженных пар каонов и пионов только в области значений поперечных импульсов менее 4 ГэВ/с. Третий подход с идентификацией каона обеспечивает наилучшую статистическую значимость экспериментальных данных в области значений поперечных импульсов 2 – 3 ГэВ/с. Использование трех различных подходов позволяет выделить сигнал в широкой области поперечных импульсов со следующими значениями:

- 1,1 – 4,0 ГэВ/с с идентификацией мезонов;
- 2,3 – 8,5 ГэВ/с без идентификации мезонов;
- 1,4 – 4,5 ГэВ/с с идентификацией каона.

Результаты измерений с помощью трех методик получены в широкой области значений поперечного импульса, а это позволяет проводить гибкое изучение систематических неопределенностей и проверку правильности проведенных измерений.

Спектр инвариантной массы разнозаряженных пар каонов и пионов состоит из сигнала и фоновой составляющей. В свою очередь фон состоит из комбинаторной и коррелированной частей.

Для оценки комбинаторной части фоновой подложки использовался метод смешивания столкновений [7]. Для этого положительно (отрицательно) заряженные частицы одного столкновения объединялись в пары с отрицательно (положительно) заряженными частицами двадцати других некоррелированных столкновений. При этом смешивались столкновения с близкими значениями центральности (разница не превышает 10 %) и координатами положения точки взаимодействия (разница не превышает одного сантиметра). После нормировки полученного спектра на коэффициент $2\sqrt{N^{++}N^{--}}$, где N^{++} и N^{--} — число пар положительно или отрицательно заряженных частиц, он вычитался из спектра инвариантной массы пар $K\pi$ -мезонов. Неверная идентификация мезонов от распадов $K_s \rightarrow K^+K^-$ и $\phi \rightarrow K^+K^-$ приводят к образованию коррелированной части фона. Пары треков от данных распадов образуют дополнительный пик, расположенный рядом с пиком K^* -мезона, в спектре инвариантной массы пар $K^\pm\pi^\mp$.

Коррелированная фоновая составляющая была оценена моделированием взаимодействия частиц от распадов $K_s \rightarrow K^+K^-$ и $\phi \rightarrow K^+K^-$ с экспериментальной установкой PHENIX методом Монте-Карло; при этом использовались результаты измерения сечений рождения K_s^- и ϕ -мезонов [1, 4]. Коррелированный фон был вычтен из спектра инвариантной массы пар $K\pi$ -мезонов.

Спектр инвариантной массы для разнозаряженных пар $K\pi$ -мезонов с поперечным импульсом $5,0 < p_T < 5,5$ ГэВ/с, полученный после вычитания комбинаторного и коррелированной фона представлен на рис. 1, б. Для определения выхода K^* -мезонов спектр инвариантной массы аппроксимируется суммой полинома третьей степени и функции Брейта – Вигнера, свернутой с распределением Гаусса [7]. Полином используется для описания остаточного фона. Свертка функции Брейта – Виг-

нера с функцией Гаусса используется для описания формы пика K^* -мезона, поскольку экспериментально измеренное массовое разрешение детектора PHENIX (около 5 МэВ/с²) значительно меньше природной ширины K^* -мезона (примерно 48 МэВ/с²) и описывает форму пика K^* -мезона с учетом массового разрешения детектора PHENIX. Зависимость массового разрешения экспериментальной установки PHENIX от поперечного импульса частицы определяется из моделирования взаимодействия частиц с экспериментальной установкой PHENIX методом Монте-Карло [7]. Выход K^* -мезонов принимается равным количеству отсчетов в окне по инвариантной массе ± 75 МэВ/с² от номинальной массы K^* -мезона. Инвариантный выход K^* -мезонов был измерен в рамках трех различных подходов, перечисленных выше. Финальные спектры K^* -мезонов по поперечному импульсу были получены из комбинации трех измерений, основываясь на статистических и систематических ошибках измерений. Подобная комбинация точек обеспечивала минимальные значения статистических и систематических ошибок экспериментальных точек в финальном спектре.

Функции коррекции $\varepsilon(p_T)$ для K^* - и ω -мезонов были рассчитаны по методике, описанной в работе [5].

Систематические ошибки измерения инвариантных выходов K^* - и ω -мезонов обусловлены ошибками, вносимыми модельным расчетом функции коррекции $\varepsilon(p_T)$, методикой измерения выхода мезонов и ошибкой измерения вероятности распада по каналам $K^* \rightarrow K^\pm + \pi^\mp$ и $\omega \rightarrow \pi^0 + \pi^+ + \pi^-$. Систематические ошибки обычно разделяют на три типа [5]:

А — не зависящие от поперечного импульса;

В — зависящие от поперечного импульса, но форма зависимости не известна;

С — связанные с неопределенностью нормировки.

Основными источниками систематических ошибок измерения инвариантных выходов K^* - и ω -мезонов являются неизбежно возникающие неопределенности, которые

связаны с точностью моделирования экспериментальной установки. К ним можно отнести следующие «точности»:

задание геометрии, энергетической шкалы, пространственного и энергетического разрешений детектора PHENIX в модельном расчете (тип В);

описание материалов детектора в модельном расчете (тип С);

вычисление эффективностей триггеров экспериментальной установки PHENIX (тип В или С);

восстановление основных характеристик нейтральных пионов при физическом анализе экспериментальных данных и в модельном расчете при применении критериев отборов π^0 -мезонов (тип В);

определение выхода K^* - и ω -мезонов в модельном расчете (тип В);

методика измерения выхода мезонов (тип А);

измерение вероятности распада по исследуемым каналам (тип С).

Оценка систематической ошибки измерения выхода мезонов проводилась путем аппроксимации спектра инвариантной массы продуктов исследуемого распада с измененной функцией, отвечающей за описание комбинаторного фона (например, использование полинома третьей степени вместо параболы); путем изменения интервалов аппроксимации для определения формы

фона под пиком; путем повторения анализа с дополнительным условием (например, проекции треков должны были быть подтверждены в электромагнитном калориметре или нейтральные пионы распада ω -мезона комбинировались с γ -квантами с энергией более 1,5 ГэВ). Для каждого случая вычислялись инвариантные выходы. Систематическая ошибка, связанная с определением выхода мезонов, определялась как значение среднеквадратического отклонения, деленного на среднее значение полученных величин инвариантных выходов.

Для оценки систематических ошибок вычисления функции коррекции $\varepsilon(p_T)$ инвариантные выходы K^* - и ω -мезонов вычислялись при измененных величинах разрешения, длины энергетической шкалы и размера активной области детектора PHENIX в пределах ошибок их измерения. Разницы брались в качестве систематических ошибок; их значения приведены в табл. 1. Суммарная ошибка $\varepsilon_{\text{сум}}$ была вычислена как корень квадратный из суммы квадратов систематических ошибок ε_i :

$$\varepsilon_{\text{сум}} = \sqrt{\sum_i \varepsilon_i^2}$$

Результаты измерений

Результаты измерения инвариантных

Таблица 1

Систематические неопределенности измерения (в процентах) инвариантных выходов ω - и K^* -мезонов

Измеряемая величина	ω	K^*	Тип
Акцептанс	6	3 – 7	В
Энергетическое разрешение	2 – 5	–	В
Энергетическая шкала	3 – 6	2 – 7	В
Отбор заряженных частиц	–	6 – 11	В
Эффективность γ -триггера	2 – 10	–	В
Конверсия γ -квантов	3	–	С
Эффективность MinBias триггера	7,8		С
Выход мезонов: данные эксперимента модельный расчет	4 – 25	7 – 12	А
	1 – 3		В

Примечание: Прочерки приведены в случаях отсутствия неопределенности.

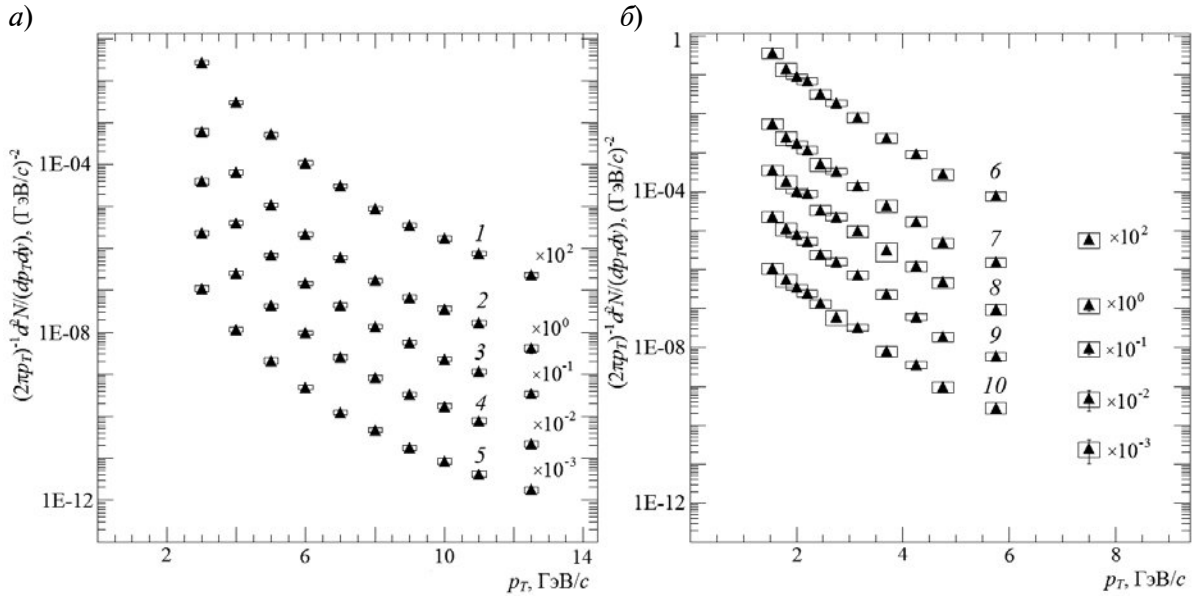


Рис. 2. Зависимость инвариантных выходов ω - (а) и K^* - (б) мезонов от поперечного импульса в столкновениях ядер дейтерия и золота при энергии $\sqrt{S_{NN}} = 200$ ГэВ для различных классов столкновений по центральности, %: 0 – 88 (1, 6), 0 – 20 (2, 7), 20 – 40 (3, 8), 40 – 60 (4, 9), 60 – 88 (5, 10)

спектров по поперечному импульсу ω - и K^* - мезонов представлены на рис. 2. Измерения выполнены для пяти классов столкновений по центральности, %: 0 – 88, 0 – 20, 20 – 40, 40 – 60 и 60 – 88. Диапазон измерений по поперечному импульсу составляет от 3 до 14 ГэВ/с для ω -мезонов и от 1,3 до 8,75 ГэВ/с для K^* -мезонов. На данном и всех последующих рисунках вертикальные «усы» и прямоугольники вокруг символов соответствуют статистическим и систематическим ошибкам измерений. Диапазон измерений в области больших поперечных импульсов ограничен доступной статистикой, а в области малых поперечных импульсов – быстро уменьшающимся акцептансом экспериментальной установки.

Полученные результаты и существующие экспериментальные данные о рождении π^0 -, K_s^0 -, η -, η' - и ϕ -мезонов [1, 4, 7] позволяют провести систематическое исследование форм спектров рождения мезонов в центральных столкновениях ядер дейтерия и золота при энергии $\sqrt{S_{NN}} = 200$ ГэВ. Аналогично исследованию форм спектров рождения мезонов в столкновениях протонов при энергии $\sqrt{S} = 200$ ГэВ [1, 8] спектры были аппрок-

симированы функцией Тсаллиса, заданной уравнением

$$Y_{\text{инв}}(p_T) = \frac{1}{2\pi} \frac{dY}{dy} \frac{n-1}{nT + m_0(n-1)} \times \frac{n-2}{nT + m_0} \left(\frac{nT + m_T}{nT + m_0} \right)^{-n},$$

где dY/dy – интегральный выход частицы в области быстрот $|y| < 0,35$; T – свободный параметр; m_0 – масса покоя частицы; n – степенной показатель; m_T – поперечная масса частицы,

$$m_T = (p_T^2 + m_0^2)^{1/2};$$

p_T – поперечный импульс частицы.

Для параметров n и T были получены следующие линейные зависимости от массы покоя частицы:

$$n = (10,3 \pm 0,2) - (0,6 \pm 0,9)m_0 [\text{ГэВ}/c^2];$$

$$T = (0,131 \pm 0,002) + (0,108 \pm 0,004)m_0 [\text{ГэВ}/c^2]$$

при величине χ^2 , деленной на число степеней свободы, равной соответственно 1,6 и 0,8.

Таблица 2

Значения интегральных выходов мезонов различного вида по результатам аппроксимации спектров их рождения функцией Тсаллиса

Мезон	dY/dy
π^0	$11,23 \pm 0,14 \pm 0,10$
η	$1,35 \pm 0,04 \pm 0,02$
η'	$0,14 \pm 0,02 \pm 0,01$
K_s	$1,43 \pm 0,04 \pm 0,03$
φ	$0,14 \pm 0,01 \pm 0,01$
ω	$1,00 \pm 0,04 \pm 0,03$
K^*	$0,32 \pm 0,01 \pm 0,01$

Примечание: Величины χ^2 , отнесенные к числу степеней свободы, были близки к единице.

Результаты аппроксимации спектров по поперечному импульсу при значениях параметров $n = 10,3$ и $T = 0,131 + 0,108m_0$ показаны на рис. 3. Полученные значения интегральных выходов частиц dY/dy приведены в табл. 2. Величины χ^2 , отнесенные к числу степеней свободы, для результатов аппроксимации были близки к единице.

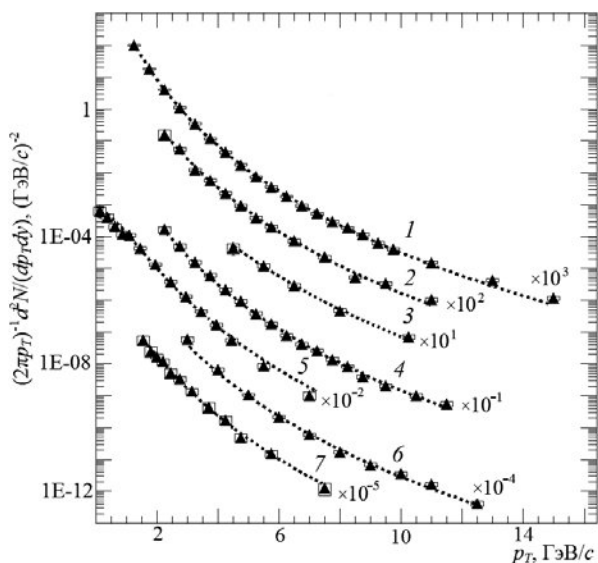


Рис. 3. Инвариантные спектры по поперечному импульсу π^0 -(1), η -(2), η' -(3), K_s -(4), φ -(5), ω -(6), и K^* -мезонов (7) в центральных столкновениях ядер дейтерия и золота.

Пунктиры – результаты аппроксимации спектров функцией Тсаллиса при фиксированных значениях параметров $n = 10,3$ и $T = 0,131 + 0,108m_0$

Таким образом, функция Тсаллиса описывает инвариантные спектры во всей области измерений и позволяет оценить интегральные выходы мезонов. Измерить эти величины на экспериментальной установке PHENIX в области малых поперечных импульсов не представляется возможным.

Для оценки влияния коллективных эффектов на свойства ω - и K^* -мезонов, рождающихся в столкновениях ядер дейтерия и золота, были рассчитаны факторы ядерной модификации по формуле [5]:

$$R_{AA}(p_T) = \frac{1}{N_{ст}} \frac{Y_{инв}^{A+A}(p_T)}{Y_{инв}^{p+p}(p_T)},$$

где $Y_{инв}^{A+A}(p_T)$, $Y_{инв}^{p+p}(p_T)$ – инвариантные выходы частицы, измеренные во взаимодействиях ядер ($A + A$) или в протон-протонных столкновениях ($p + p$) в интервале импульсов dp_T в диапазоне быстрот dy при одной и той же энергии пары взаимодействующих нуклонов; $N_{ст}$ – число парных неупругих нуклон-нуклонных столкновений, произошедших при взаимодействии ядер.

При расчете факторов ядерной модификации использовались инвариантные выходы ω - и K^* -мезонов в протонных столкновениях, опубликованные в работах [1, 8]. Значения $N_{столкн}$ были вычислены в рамках модели Глаубера [5]. Зависимость фактора ядерной модификации от поперечного импульса показана на рис. 4. Там же представлены факторы ядерной модификации, измеренные для мезонов пяти типов [1]. Поведение факторов ядерной модификации для ω - и K^* -мезонов в области промежуточных (2 – 5 ГэВ/с) и больших более 5 – 6 ГэВ/с поперечных импульсов в пределах ошибок измерений согласуется с поведением факторов ядерной модификации для других мезонов. В периферийных столкновениях не наблюдается влияния коллективных эффектов на рождение мезонов. В центральных столкновениях в области промежуточных поперечных импульсов выход мезонов избыточен. Степень избыточности одинакова для всех мезонов и составляет 10 – 15 %. В области больших поперечных импульсов выходы мезонов одинаково подавлены на 10 – 20 %. Ре-

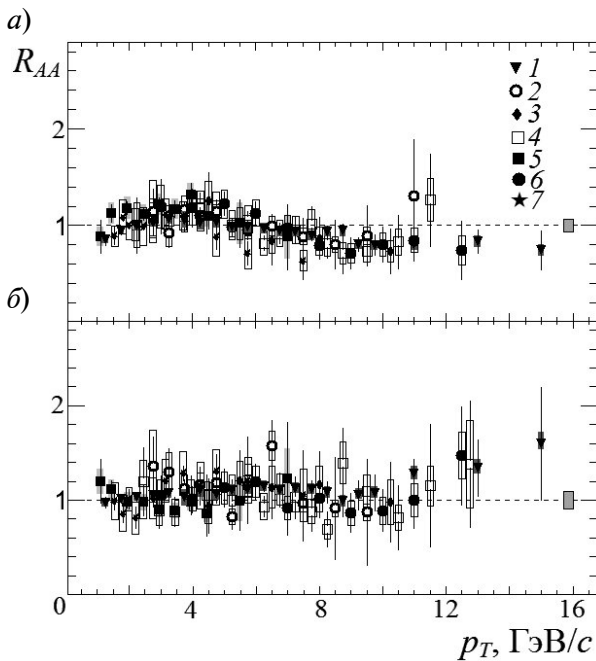


Рис. 4. Зависимости факторов ядерной модификации для π^0 -(1), η -(2), η' -(3), K_s -(4), ϕ -(5), ω -(6) и K^* -мезонов (7) от поперечного импульса в центральных (0 – 20 %) (а) и периферийных (60 – 88 %) (б) столкновениях ядер дейтерия и золота.

Вертикальные прямоугольники вблизи правых осей ординат соответствуют систематическим ошибкам определения величины $N_{ст}$

результаты измерения факторов ядерной модификации для ω - и K^* -мезонов подтверждают факт слабой зависимости эффектов начального состояния от массы мезонов и их кваркового состава [1, 4].

Заключение

В настоящей статье представлены экспериментальные результаты по исследованию рождения ω - и K^* -мезонов в столкновениях ядер дейтерия и золота при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ. Измерения выполнены для пяти классов столкновений по центральности в области поперечных импульсов от 3 до 13 ГэВ/с для ω -мезонов и от 1,30 до 8,75 ГэВ/с для K^* -мезонов. На основе измеренных в работе инвариантных спектров по поперечному импульсу ω - и K^* -мезонов и существующих результатов исследования других легких мезонов проведено систематическое исследование формы спектров рождения мезонов в центральных столкновениях ядер дейтерия и золота.

Установлено, что для описания спектров целесообразно использовать функциональную зависимость на основе распределения Тсаллиса, применяемую для описания спектров рождения частиц в столкновениях протонов [8]. Поведение факторов ядерной модификации для ω - и K^* -мезонов, измеренных в данной работе, согласуется с поведением факторов ядерной модификации, полученных нами ранее для других мезонов. Указанный экспериментальный результат подтверждает факт слабой зависимости эффектов начального состояния от массы мезонов и их кваркового состава.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований, грант № 12-02-31362 мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердников Я.А., Иванищев Д.А., Котов Д.О., Рябов В.Г., Рябов Ю.Г., Самсонов В.М. Рождение странных адронов в ядро-ядерных взаимодействиях в эксперименте PHENIX на коллайдере RHIC // Ядерная физика и инжиниринг. 2013. Т. 4. № 9-10. С. 812–817.
2. Müller B., Schukraft J., Wyslouch B. First results from Pb + Pb collisions at the LHC // Annual Review of Nuclear and Particle Science. 2012. Vol. 62. P. 361-386.
3. Aad G., Abajyan T., Abbott B. et al. (ATLAS collaboration). Transverse momentum, rapidity, and centrality dependence of inclusive charged-particle production in $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV p + Pb collisions measured by the ATLAS experiment // ATLAS-

CONF-2013-107. 2013. P. 1-19.

4. Бердников Я.А., Иванищев Д.А., Котов Д.О., Рябов В.Г., Рябов Ю.Г., Самсонов В.М. Рождение короткоживущих нейтральных каонов в столкновениях ядер дейтерия и золота при энергии 200 ГэВ // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2011. № 3 (129). С. 134–139.

5. Бердников А.Я., Иванищев Д.А., Котов Д.О., Рябов В.Г., Рябов Ю.Г., Самсонов В.М. Рождение короткоживущих нейтральных каонов в столкновениях ядер меди при энергии 200 ГэВ // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2011. № 2 (122). С. 116–121.

6. Beringer J., Arguin J.F., Barnett R.M. et al. (Particle Data Group). Review of particle physics // Phys. Rev. D. 2012. Vol. 86. P. 010001(1-1528).

7. Бердников Я.А., Иванищев Д.А., Котов Д.О., Рябов В.Г., Рябов Ю.Г., Самсонов В.М. Рождение ϕ -мезонов в ядро-ядерных столкновениях при энергии $\sqrt{S_{NN}} = 200$ ГэВ // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические

науки. 2008. № 6 (67). С. 74–78.

8. Бердников Я.А., Иванищев Д.А., Котов Д.О., Рябов В.Г., Рябов Ю.Г., Самсонов В.М. Дифференциальные сечения рождения π , K , η , ω , η' , ϕ -мезонов в $p + p$ взаимодействиях при энергии $\sqrt{S} = 200$ ГэВ // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2008. № 6 (67). С. 65–70.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ИВАНИЩЕВ Дмитрий Александрович — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник лаборатории релятивистской ядерной физики отделения физики высоких энергий Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова.

188300, Россия, Ленинградская обл., г. Гатчина, Орлова роща, ФГБУ «ПИАФ»
(812) 552-75-31
ivanishchev@gmail.com

ИВАНОВ Алексей Евгеньевич — кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник лаборатории физики элементарных частиц отделения физики высоких энергий Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова.

188300, Россия, Ленинградская обл., г. Гатчина, Орлова роща, ФГБУ «ПИАФ»
(812) 552-75-31
ivanovae@pnpi.spb.ru

КОТОВ Дмитрий Олегович — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории релятивистской ядерной физики отделения физики высоких энергий Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова.

188300, Россия, Ленинградская обл., г. Гатчина, Орлова роща, ФГБУ «ПИАФ»
(812) 552-75-31
dm_kotov@phmf.spbstu.ru

Ivanishchev D.A., Ivanov A.E., Kotov D.O. K^* AND ω -MESONS PRODUCTION IN $d + Au$ COLLISIONS AT 200 GeV

Invariant transverse momentum spectra obtained for K^* - and ω - mesons in $d + Au$ collisions at 200 GeV have been presented. Comparison of the obtained results with existing measurements for π^0 -, K_s^- -, η^- -, η' - and ϕ -mesons have been made. The systematic study for light mesons production in central $d + Au$ collisions have been carried out.

NUCLEI COLLISIONS, MESONS, PRODUCTION, LIGHT QUARKS, ANALYSIS.

REFERENCES

1. Berdnikov Ya.A., Ivanishchev D.A., Kotov D.O., Ryabov V.G., Ryabov Yu.G., Samsonov V.M. Rozhdenie strannykh adronov v yadro-yadernykh vzaimodeystviyakh v eksperimente PHENIX na kol-laydere RHIC. Yadernaya fizika i inzhiniring, 2013, Vol. 4, No. 9-10, pp. 812-817. (rus)

2. Müller B., Schukraft J., Wyslousch B. First results from Pb + Pb collisions at the LHC. Annual Review of Nuclear and Particle Science, 2012, Vol. 62, pp. 361-386.

3. Aad G., Abajyan T., Abbott B. et al. (Atlas collaboration). Transverse momentum, rapidity, and centrality dependence of inclusive charged-

particle production in $\sqrt{S_{NN}} = 5.02$ TeV $p + Pb$ collisions measured by the ATLAS experiment. ATLAS-CONF-2013-107, 2013, pp. 1-19.

4. Berdnikov Ya.A., Ivanishchev D.A., Kotov D.O., Ryabov V.G., Ryabov Yu.G., Samsonov V.M. Rozhdenie korotkozhiyushchikh neytral'nykh ka-onov v stolknoveniyakh yader deyteriya i zolota pri energii 200 GeV. St. Petersburg State Polytechnical University: Physics and Mathematics, 2011, No. 3 (129), pp. 134-139. (rus)

5. Berdnikov A.Ya., Ivanishchev D.A., Kotov D.O., Ryabov V.G., Ryabov Yu.G., Samsonov V.M. Rozhdenie korotkozhiyushchikh neytral'nykh



kaonov v stolknoveniyakh yader medi pri energii 200 GeV. *St. Petersburg State Polytechnical University: Physics and Mathematics*, 2011, No. 2 (122), pp. 116-121. (rus)

6. **Beringer J., Arguin J.F., Barnett R.M. et al. (Particle Data Group)**. Review of particle physics. *Phys. Rev. D*, 2012, Vol. 86, pp. 010001(1-1528).

7. **Berdnikov Ya.A., Ivanishchev D.A., Kotov D.O., Ryabov V.G., Ryabov Yu.G., Samsonov V.M.** Rozhdenie ϕ -mezonov v yadro-yadernykh stolkn-

veniyakh pri energii $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV. *St. Petersburg State Polytechnical University: Physics and Mathematics*, 2008, No. 6 (67), pp. 74-78. (rus)

8. **Berdnikov Ya.A., Ivanishchev D.A., Kotov D.O., Ryabov V.G., Ryabov Yu.G., Samsonov V.M.** Differentsial'nye secheniya rozhdeniya π , K, η , ω , η' , ϕ -mezonov v p + p vzaimodeystviyakh pri energii $\sqrt{s} = 200$ GeV. *St. Petersburg State Polytechnical University: Physics and Mathematics*, 2008, No. 6 (67), pp. 65-70. (rus)

THE AUTHORS

IVANISHCHEV Dmitry A.

B.P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute,
188300, Orlova Roscha, Gatchina, Russia

IVANOV Alexei E.

B.P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute,
188300, Orlova Roscha, Gatchina, Russia

KOTOV Dmitry O.

St. Petersburg State Polytechnical University,
195251, Politekhnicheskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia