

РОЖДЕНИЕ K^* -МЕЗОНОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ ЯДЕР МЕДИ И ЗОЛОТА ПРИ ЭНЕРГИИ $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ

**В.С. Борисов, Я.А. Бердников, А.Я. Бердников,
Д.О. Котов, Ю.М. Митранков**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье приведены результаты измерений инвариантных спектров рождения и факторов ядерной модификации $K^*(892)$ -мезонов в столкновениях ядер меди и золота (Cu + Au) при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ. Измерения выполнены в пяти классах событий по центральности в диапазоне поперечных импульсов от 2,00 до 5,75 ГэВ/с в эксперименте PHENIX на коллайдере RHIC. Значения факторов ядерной модификации сравнивались с ранее полученными данными на PHENIX в (Cu + Cu)-столкновениях при такой же энергии (200 ГэВ). Установлено, что факторы ядерной модификации K^* -мезонов в столкновениях Cu + Cu и Cu + Au, при одинаковом числе участников N_{part} , имеют одинаковые значения (в пределах неопределенностей).

Ключевые слова: кварк-глюонная плазма, эффект гашения струй, странность, фактор модификации

Ссылка при цитировании: Борисов В.С., Бердников Я.А., Бердников А.Я., Котов Д.О., Митранков Ю.М. Рождение K^* -мезонов в столкновениях ядер меди и золота при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2020. Т. 13. № 2. С. 142–151. DOI: 10.18721/JPM.13211

Статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PRODUCTION OF K^* -MESONS IN THE COPPER-GOLD NUCLEI COLLISIONS AT $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV

**V.S. Borisov, Ya.A. Berdnikov, A.Ya. Berdnikov,
D.O. Kotov, Iu.M. Mitrankov**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

This paper presents invariant transverse momentum spectra and nuclear modification factors of $K^*(892)$ -mesons measured in the Cu + Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV. The measurements were performed in five centrality bins in the range of transverse momentum from 2.00 to 5.75 GeV/c in the PHENIX experiment at the RHIC. Nuclear modification factors were compared with previously obtained PHENIX data in Cu + Cu collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV. The nuclear modification factors of K^* -mesons in Cu + Cu and Cu + Au collisions at the same values of a number of participants N_{part} were found to have similar values (within uncertainties).

Keywords: gluon plasma, jet quenching heavy ion collision, strangeness, nuclear modification factor

Citation: Borisov V.S., Berdnikov Ya.A., Berdnikov A.Ya., Kotov D.O., Mitrankov Iu.M., Production of K^* -mesons in the copper-gold nuclei collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV, St. Petersburg Polytechnical State University Journal. Physics and Mathematics. 13 (2) (2020) 142–151. DOI: 10.18721/JPM.13211



This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

Изучение свойств ядерной материи при экстремальных условиях, в которых возможно состояние деконфайнмента (несвязанное состояние между кварками и глюонами), направлено на решение важной проблемы в области ядерной физики высоких энергий. Предполагается, что состояние деконфайнмента существовало на ранних этапах зарождения Вселенной [1].

Известно, что при высоких плотностях энергии, приблизительно 1 ГэВ/фм^3 , квантовая хромодинамика предсказывает фазовый переход от обычной адронной ядерной материи, свойства которой определяются бесцветными адронами, к новому состоянию вещества – кварк-глюонной плазме (КГП), степенями свободы которой являются кварки и глюоны, выходящие за пределы области конфайнмента, имеющей радиус порядка 1 фм [2]. В лабораторных условиях, экстремально высокой плотности энергии можно достичь путем столкновения тяжелых ультрарелятивистских ядер.

Одним из основных признаков образования КГП является эффект гашения струй, который проявляется в сильном подавлении выходов частиц в центральных столкновениях тяжелых ядер ввиду потерь энергии кварков и глюонов в среде [3, 4].

Среди интересных эффектов, наблюдаемых в столкновениях тяжелых ядер, следует выделить увеличение выхода странных адронов. Поскольку рождение кварк-антикварковой пары $s\bar{s}$ происходит главным образом в процессах глюон-глюонного ($gg \rightarrow s\bar{s}$) взаимодействия, вероятность процесса в КГП возрастает по следующей причине. Восстановление киральной симметрии в КГП приводит к уменьшению массы странного кварка, что снижает энергетический порог образования странности, и рождение $s\bar{s}$ -пары становится выгоднее, чем рождение пар $u\bar{u}$ и $d\bar{d}$ [5]. Следовательно, измерение выходов векторного $K^*(892)$ -мезона (его масса покоя

равна $0,8916 \text{ ГэВ}/c^2 \approx 892 \text{ МэВ}/c^2$) с открытой странностью ($ds\bar{}$) является эффективным способом изучения свойств КГП [6].

В настоящей работе представлены экспериментальные данные по измерению выходов K^* -мезонов, их инвариантные спектры по поперечному импульсу p_T и факторы ядерной модификации R_{AB} для K^* -мезонов, измеренные в столкновениях ядер меди и золота (далее такие столкновения обозначаются как $\text{Cu} + \text{Au}$) при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ ГэВ}$ в области малых быстрот и в диапазоне поперечного импульса $2,00 - 5,75 \text{ ГэВ}/c$ с использованием детектора PHENIX на коллайдере RHIC (The Relativistic Heavy Ion Collider, находится в Брукхейвенской национальной лаборатории (США)) [7–9].

Методика измерений

При анализе выходов K^* -мезонов использовались две методики с целью обеспечения независимых источников систематических ошибок. Экспериментальные данные были получены от разных детекторов, чтобы охватить разные области значений поперечного импульса p_T и достичь тем самым максимально широкого диапазона его значений, возможных в этой системе столкновений. Поскольку в области промежуточных значений импульсов применялись обе методики, имеющие разные источники систематических неопределенностей, тем самым обеспечивалась ценная проверка достоверности полученных результатов.

Выход K^* -мезонов получен с применением следующих детекторных подсистем эксперимента PHENIX: дрейфовая камера, третий слой падовых камер [10] и времяпролетная камера [11].

В дрейфовой и падовой камерах измеряют поперечные импульсы K - и π -мезонов. Во времяпролетной камере идентифицируют K - и π -мезоны, а также протоны. Выходы K^* - и K^* -мезонов измеряют в адронных каналах распада $K^+ + \pi^-$ и $K^- + \pi^+$. Для этого разно-

заряженные частицы, зарегистрированные в одном столкновении, комбинируют в пары. Исследователи учитывают только частицы, поперечный импульс которых превышает 0,3 ГэВ/с. Считается, что заряженная частица является K - либо π -мезоном, и в зависимости от исследуемого канала распада и ее заряда ей приписывается масса заряженного K - либо π -мезона. Для увеличения статистической значимости экспериментальных данных в широкой области поперечных импульсов, спектры инвариантной массы пар ($K\pi$)-мезонов восстанавливают с использованием двух методик, описанных ниже.

Первая методика – ТоF-РСЗ – предполагает, что поперечный импульс K -мезона был измерен в дрейфовой камере и K -мезон был идентифицирован во времяпролетной камере, а поперечный импульс π -мезона был измерен в дрейфовой камере и в третьем слое падовой камеры. Эта методика позволяет регистрировать и вычислять кинематические характеристики K^* -мезонов при малых значениях поперечного импульса p_T (1,9 – 2,9 ГэВ/с).

Вторая методика – РСЗ-РСЗ – предполагает, что поперечные импульсы K - и π -мезонов измерены в дрейфовой камере и в третьем слое падовой камеры. Эта методика позволяет определять выход K^* -мезонов при промежуточных и больших значениях p_T (2,6 – 6,5 ГэВ/с). Недостатком второй методики является наличие значительно большего уровня комбинаторного фона, по сравнению с таковым для первой методики, что исключает измерения выхода K^* -мезонов при значениях поперечного импульса ниже значения $p_T = 2,0$ ГэВ/с при (Cu+Au)-взаимодействиях.

На рис. 1 представлены примеры аппроксимации распределений по инвариантной массе пар ($K\pi$)-мезонов для центральных столкновений; результаты получены с использованием обеих методик.

Поскольку невозможно отличить K - и π -мезоны, рожденные в распадах K^* -мезона, от других таких же частиц, все треки этих частиц от каждого события, удовлетворяющие

требованиям выбора трека, объединяются в пары с одинаковым зарядом и в пары с разноименными зарядами. Для каждого трека компоненты вектора 3-импульса \mathbf{p} измеряются с помощью дрейфовой камеры:

$$p_x = p \sin \theta_0 \cdot \cos \varphi_0,$$

$$p_y = p \sin \theta_0 \cdot \sin \varphi_0,$$

$$p_z = p \cos \theta_0.$$

Затем вычисляется инвариантная масса и поперечный импульс для пары ($K\pi$)-мезонов на основе кинематики двухчастичного распада:

$$m_{K\pi}^2 = (E_K + E_\pi)^2 - (\mathbf{p}_K + \mathbf{p}_\pi)^2,$$

$$p_{T_{K\pi}}^2 = (p_{x_K} + p_{x_\pi})^2 + (p_{y_K} + p_{y_\pi})^2,$$

где $E_K = \sqrt{\mathbf{p}_K^2 + m_K^2}$ и $m_K = 0,43667$ ГэВ; $E_\pi = \sqrt{\mathbf{p}_\pi^2 + m_\pi^2}$ и $m_\pi = 0,13957$ ГэВ.

Спектр инвариантной массы для пары мезонов с разными знаками содержит как полезный сигнал K^* -мезонов, так и собственный комбинаторный фон. Последний включает две составляющие: коррелированный фон и некоррелированный. Для оценки комбинаторного фона применяется метод смещения событий. Цель анализа состоит в том, чтобы извлечь выходы K^* -мезонов из выходов инклюзивных пар ($K\pi$) $^\pm$. Во всех анализах выходы K^* -мезонов были получены путем интегрирования распределения по инвариантной массе в интервале ± 100 МэВ/с² вблизи массы K^* -мезона (892 МэВ/с²) после вычитания комбинаторного фона.

Экспериментальные данные, которые имеют вид двумерных распределений выходов K^* -мезонов по инвариантной массе и по поперечному импульсу, разбиваются на интервалы по поперечному импульсу и аппроксимируются функцией Брейта – Вигнера в релятивистском представлении (RBW), свернутой с функцией Гаусса, плюс полином второй степени для учета остаточного фона:

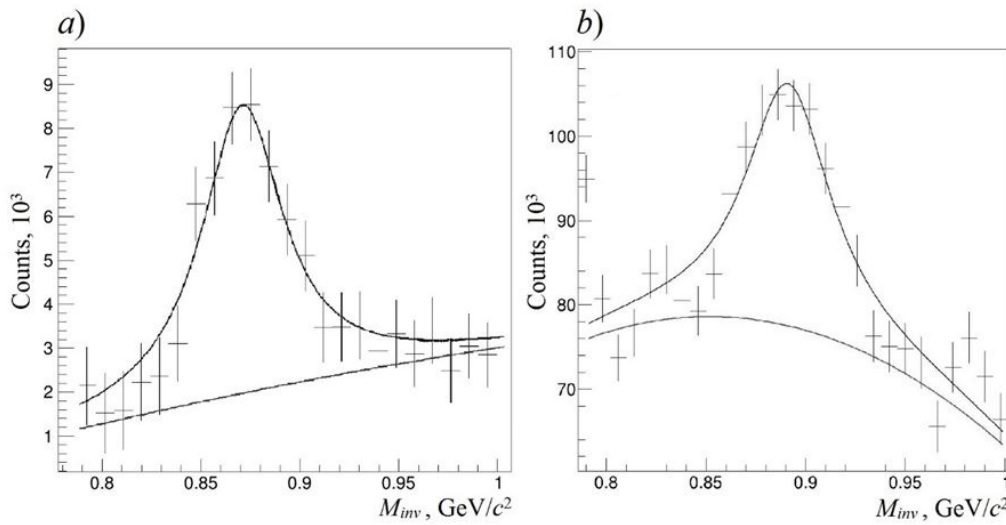


Рис. 1. Распределения числа рождений K - и π -мезонов по инвариантной массе в центральных (Cu + Au)-столкновениях, полученные по двум методикам: ТоF-PC3 (a) и PC3-PC3 (b) в диапазонах значений поперечного импульса $p_{T,2,3} - 2,6$ и $2,9 - 3,4$ ГэВ/с соответственно

$$RBW = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{MM_0\Gamma}{(M^2 - M_0^2)^2 + M_0^2\Gamma^2},$$

где M_0 , ГэВ/с²; Γ , ГэВ/с², – значения массы и ширины распада из PDG для K^* -мезона, соответственно (PDG – Particle Data Group); M , ГэВ/с² – экспериментальное значение массы частицы.

Остаточный фон в основном возникает вследствие распада мезонов другого типа.

Инвариантный спектр рождения K^* -мезона в каждом интервале по поперечному импульсу вычисляется как

$$\frac{1}{2\pi p_T} \cdot \frac{d^2 N}{dp_T dy} = \frac{1}{2\pi p_T} \cdot \frac{1}{2} \times \frac{1}{N_{events}} \cdot \frac{1}{Br} \cdot \frac{1}{\epsilon_{eff}(p_T)} \cdot \frac{N(\Delta p_T)}{\Delta p_T \Delta y},$$

где p_T , Δp_T , ГэВ/с, – поперечный импульс мезона и его интервал; y , Δy – быстрота и ее интервал; $N(\Delta p_T)$ – число мезонов, зарегистрированных экспериментальной установкой (выходы мезонов); N_{events} – полное число анализируемых событий в выбранном диапазоне центральности; $\epsilon_{eff}(p_T)$ – эффективность восстановления K^* -мезонов, полученная ме-

тодом Монте-Карло с помощью моделирования распада, прохождения и восстановления мезонов в экспериментальной установке PHENIX; $Br = 0,666$ – вероятность распада мезона по исследуемому каналу. Коэффициент 1/2 необходим в формуле для усреднения инвариантных выходов K^* - и \bar{K}^* -мезонов.

Факторы ядерной модификации частиц в столкновениях тяжелых ядер используются для изучения коллективных эффектов, влияющих на спектры рождения частиц по поперечному импульсу, и вычисляются в соответствии с формулой:

$$R_{CuAu} = \frac{d^2 N_{CuAu}(p_T) / dy dp_T}{N_{coll} / \sigma_{pp}^{inel} \cdot d^2 \sigma_{pp} / dy dp_T},$$

где числитель выражения – величина, характеризующая инвариантный спектр рождения мезонов в столкновениях тяжелых ядер меди и золота; $d^2 \sigma_{pp} / dy dp_T$ – инвариантное дифференциальное сечение рождения этих частиц в столкновениях указанных ядер при той же энергии в системе центра масс; N_{coll} – среднее число бинарных столкновений на событие в (Cu + Au)-столкновениях; σ_{pp}^{inel} – неупругое сечение рассеяния протона на протоне (здесь $\sigma_{pp}^{inel} = 42,2$ мб).

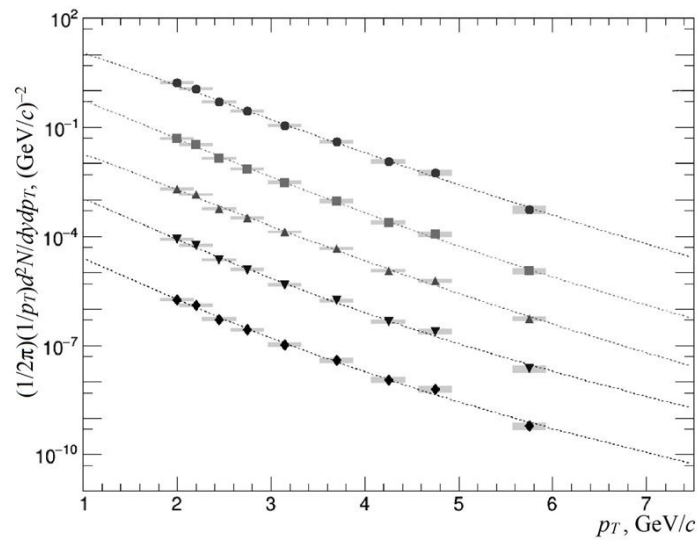


Рис. 2. Инвариантные спектры рождения K^* -мезонов в (Cu+Au)-столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ для пяти классов событий по центральности, %:
 0 – 80 (●); 0 – 20 (■); 20 – 40 (▲); 40 – 60 (▼); 60 – 80 (◆).
 Статистические погрешности измерений не превышают размеров маркеров.
 Уровень систематических погрешностей показан прямоугольниками

Результаты измерений и их обсуждение

Результаты измерения инвариантных спектров рождения K^* -мезонов по поперечному импульсу представлены на рис. 2. Измерения выполнены в пяти классах событий по центральности в диапазоне поперечных импульсов от 2,00 до 5,75 ГэВ/с. Указанные спектры для K^* -мезонов были аппроксимированы функцией Леви [12].

На рис. 3 представлены результаты измерений факторов ядерной модификации R_{AB} с систематическими погрешностями, в зависимости от поперечного импульса, полученные для K^* -мезонов в (Cu + Au)-взаимодействиях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ и различной центральности столкновений. Представленные результаты были получены с использованием двух методик: ТоF-РСЗ и РСЗ-РСЗ. Установлено, что при одинаковых значениях поперечного импульса они хорошо согласуются друг с другом.

В центральных (Cu+Au)-столкновениях значения факторов ядерной модификации R_{AB} для K^* -мезонов в области больших поперечных импульсов принимают значения меньше единицы (для $p_T = 5-6$ ГэВ/с значе-

ния R_{AB} лежат в диапазоне от 0,4 до 0,7). По мере увеличения центральности взаимодействия ядер, подавление выходов K^* -мезонов уменьшается и значения R_{AB} приближаются к единице.

На рис. 4 показано сравнение факторов R_{AB} ядерной модификации K^* -мезонов, измеренных в столкновениях ядер меди и золота, Cu+Au, с факторами R_{AA} в столкновениях одинаковых ядер – Cu+Cu при одной и той же энергии – 200 ГэВ. Видно, что при сходном числе участников результаты находятся в хорошем согласии (в пределах неопределенностей).

На рис. 5 сравниваются данные по p_T -распределению факторов ядерной модификации K^* -, ϕ -, π^0 -, η -, K_S - и ω -мезонов в (Cu+Au)-столкновениях при энергии 200 ГэВ. Видно, что факторы R_{AB} ядерной модификации K^* - и ϕ -мезонов равны единице в центральных столкновениях для промежуточных значений p_T ; тогда как факторы R_{AB} мезонов π^0 , η , K_S , ω подавляются в центральных столкновениях во всем диапазоне значений p_T . При больших значениях p_T , в наиболее центральных столкновениях, все

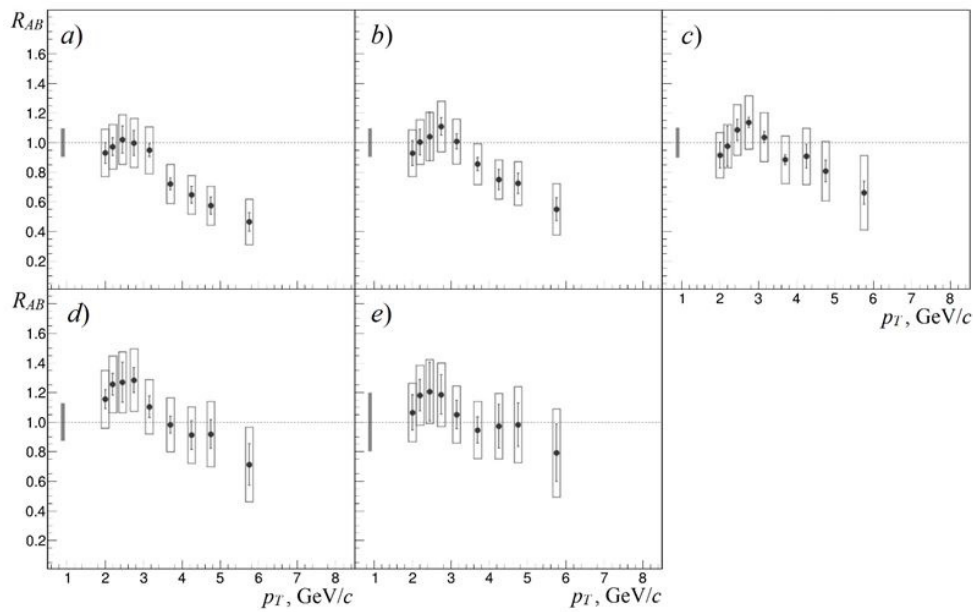


Рис. 3. Распределения факторов ядерной модификации K^* -мезонов по поперечному импульсу в (Cu + Au)-столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ для пяти классов событий по центральности, %: 0 – 20 (a), 20 – 40 (b), 0 – 80 (c), 40 – 60 (d), 60 – 80 (e).

«Усы» и прямоугольники показывают уровни статистических и систематических погрешностей измерений

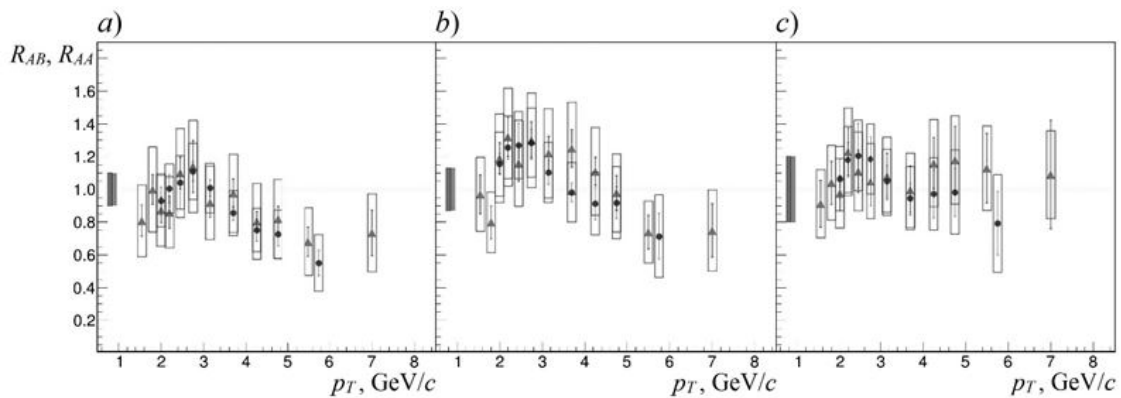


Рис. 4. Сравнение факторов R_{AB} ядерной модификации K^* -мезонов в (Cu+Au)-столкновениях (точки) с факторами R_{AA} в (Cu + Cu)-столкновениях (треугольники) при одинаковой энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ и при сходных числах участников N_{part} : 80,37 (Cu + Au) и 85,90 (Cu + Cu) (a); 34,92 и 45,20 (b); 11,54 и 6,40 (c).

«Усы» и прямоугольники показывают уровни статистических и систематических погрешностей измерений

легкие мезоны демонстрируют одинаковый уровень подавления. В периферийных столкновениях факторы ядерной модификации R_{AB} для всех рассмотренных мезонов равны единице (в пределах неопределенностей). Такое же поведение легких мезонов наблюдалось и в (Cu + Cu)-столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ [12].

Заключение

В данной работе представлены результаты измерения инвариантных спектров рождения и факторов ядерной модификации K^* -мезонов в столкновениях ядер меди и золота (Cu+Au) при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ, в области псевдобыстроты $|\eta| < 0,35$, в интервале значений поперечного импульса

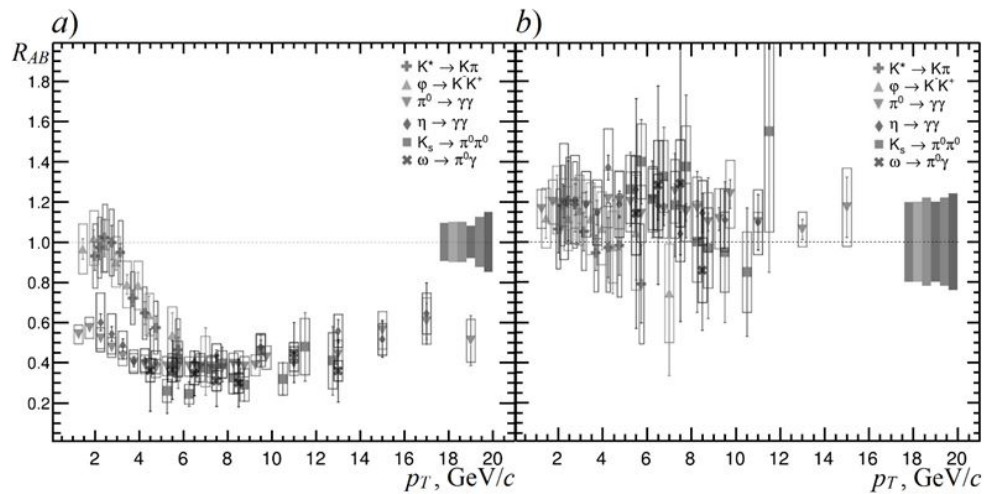


Рис. 5. Эксперимент по столкновению ядер Cu + Au при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ. Сравнение данных по распределению по поперечному импульсу факторов ядерной модификации различных легких мезонов в центральных (a) и периферийных (b) столкновениях. «Усы» и прямоугольники показывают уровни статистических и систематических погрешностей измерений

$2,00 < p_T < 5,75$ ГэВ/с и для пяти классов событий по центральности. Все данные, на основе которых были произведены измерения, получены в эксперименте PHENIX в 2012 году.

Проведен сравнительный анализ функций ядерной модификации K^* -мезонов во взаимодействиях Cu+Cu и Cu+Au при одинаковой энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ и функций ядерной модификации K^* -, ϕ -, π^0 -, η -, K_S - и ω -мезонов в (Cu+Au)-столкновениях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ. Установлено, что при почти одинаковом числе участников выходы K^* -мезонов в столкновениях Cu+Au и Cu+Cu при одинаковой энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ имеют одинаковые значения

во всем исследованном диапазоне значений поперечных импульсов.

Таким образом, подавление мезонов в случае большого числа участников зависит от размера области перекрытия ядер, но не зависит от формы ядер [13–15].

Выходы K^* - и ϕ -мезонов в центральных (Cu+Au)-столкновениях менее подавлены в области промежуточных значений p_T , чем мезонов, состоящих только из кварков первого поколения, что указывает на избыточный выход странности. Выходы K^* -мезонов и других легких мезонов подавлены в области больших поперечных импульсов в центральных столкновениях меди и золота, что подтверждает наличие эффекта гашения струй.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Adcox K., Adler S.S., Afanasiev S., et al. Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC: experimental evaluation by the PHENIX Collaboration // Nuclear Physics A. 2005. Vol. 757. No. 1–2. Pp. 184–283.
2. Accardi A., Gyulassy M. Cronin effect vs. geometrical shadowing in $d + Au$ collisions at RHIC // Phys. Lett. B. 2004. Vol. 586. No. 3–4. Pp. 244–253.

3. Berdnikov A., Berdnikov Ya., Kotov D., et al. Phi meson measurements in Cu+Au collisions at 200 GeV and in U+U collisions at 192 GeV // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. Vol.1135. No. 1. P. 012044.
4. Adare A., Afanasiev S., Aidala C., et al. Measurement of K_S^0 and K_*^0 in $p + p$, $d + Au$, and Cu + Cu collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV // Physical Review. C. 2014. Vol. 90. No. 5. P. 054905.
5. Кондратьев В.П., Феофилов Г.А. Рожде-



ние странных частиц в релятивистских столкновениях тяжелых ионов // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2011. Т. 42. Вып. 6. С. 1721–1803.

6. **Iner A., Cabrera D., Markert C., et al.** K^* vector meson resonance dynamics in heavy-ion collisions // Phys. Rev. C. 2017. Vol. 95. No. 1–2. P. 014903.

7. **Arsene I., Dearden I.G., Beavis D., et al.** Quark gluon plasma and color glass condensate at RHIC? The perspective from the BRAHMS experiment // Nuclear Physics A. 2005. Vol. 757. No. 1–2. Pp. 1–27.

8. **Back B.B., Baker M.D., Ballintijn M., et al.** The PHOBOS perspective on discoveries at RHIC // Nucl. Phys. A. 2005. Vol. 757. No. 1–2. Pp. 28–101.

9. **Adams J., Aggarwal M.M., Ahammed Z., et al.** Experimental and theoretical challenges in the search for the quark gluon plasma: the STAR Collaboration's critical assessment of the evidence from RHIC collisions // Nuclear Physics A. 2005. Vol. 757. No. 1–2. Pp. 102–183.

10. **Lokesh K.** $K^*(892)$ and $\phi(1020)$ resonance

production at RHIC // EPJ Web of Conferences. 2015. Vol. 97. No. 1–2. P. 00017.

11. **Ghiglieri J.** Energy loss at NLO in a hightemperature quark-gluon plasma // Nuclear Physics. A. 2016. Vol. 956. December. Pp. 801–804.

12. **Adler S.S., Afanasiev S., Aidala C., et al.** Nuclear modification of electron spectra and implications for heavy quark energy loss in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV // Phys.Rev. Lett. 2006. Vol. 96. No. 1–2. P. 032301.

13. **Adare A., Aidala C., Ajitanand N.N., et al.** Low-mass vector-meson production at forward rapidity in $p+p$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV // Phys. Rev. D. 2014. Vol. 90. No. 5. P. 052002.

14. **Adare A., Afanasiev S., Aidala C., et al.** Measurement of neutral mesons in $p+p$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV and scaling properties of hadron production // Physical Review. D. 2011. Vol. 83. No. 5. P. 052004.

15. **Mitrankov I.** Scaling properties of high- p_T light hadrons from small to large systems by PHENIX // Proceedings of Science. 2018. Vol. 345. No. 1. P. 0108.

Статья поступила в редакцию 26.03.2020, принята к публикации 08.04.2020.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БОРИСОВ Владислав Сергеевич – инженер Высшей инженерно-физической школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
borisov_vs@spbstu.ru

БЕРДНИКОВ Ярослав Александрович – доктор физико-математических наук, профессор Высшей инженерно-физической школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
berdnikov@spbstu.ru

БЕРДНИКОВ Александр Ярославич – кандидат физико-математических наук, доцент Высшей инженерно-физической школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
alexber@phmf.spbstu.ru

КОТОВ Дмитрий Олегович – кандидат физико-математических наук, доцент Высшей инженерно-физической школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
dmitriy.kotov@gmail.com

МИТРАНКОВ Юрий Михайлович – ассистент Высшей инженерно-физической школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
mitrankovy@gmail.com

REFERENCES

- Adcox K., Adler S.S., Afanasiev S., et al.**, Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus-nucleus collisions at RHIC: experimental evaluation by the PHENIX Collaboration, Nuclear Physics. A. 757 (1–2) (2005) 184–283.
- Accardi A., Gyulassy M.** Cronin effect vs. geometrical shadowing in $d + Au$ collisions at RHIC // Phys. Lett. B. 586 (3–4) (2004) 244–253.
- Berdnikov A., Berdnikov Ya., Kotov D., et al.**, Phi meson measurements in Cu+Au collisions at 200 GeV and in U+U collisions at 192 GeV // J. Phys.: Conf. Ser. 1135 (1) (2018) 012044.
- Adare A., Afanasiev S., Aidala C., et al.**, Measurement of K_s^0 and K^{*0} in $p+p$, $d+Au$, and Cu+Cu collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV, Physical Review. C. 90 (5) (2014) 054905.
- Kondratiev V.P., Feofilov G.A.**, Strange particles production in relativistic heavy-ion collisions, Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei. 42 (6) (2011) 1721–1803 (in Russian).
- Iner A., Cabrera D., Markert C., et al.**, K^* vector meson resonance dynamics in heavy-ion collisions // Phys. Rev. C. 95 (1–2) (2017) 014903.
- Arsene I., Dearden I.G., Beavis D., et al.**, Quark gluon plasma and color glass condensate at RHIC? The perspective from the BRAHMS experiment, Nuclear Physics. A. 757 (1–2) (2005) 1–27.
- Back B.B., Baker M.D., Ballintijn M., et al.**, The PHOBOS perspective on discoveries at RHIC // Nucl. Phys. A. 757 (1–2) (2005) 28–101.
- Adams J., Aggarwal M.M., Ahammed Z., et al.**, Experimental and theoretical challenges in the search for the quark gluon plasma: the STAR Collaboration’s critical assessment of the evidence from RHIC collisions, Nuclear Physics. A. 757 (1–2) (2005) 102–183.
- Lokesh K.**, $K^*(892)$ and $\phi(1020)$ resonance production at RHIC // EPJ Web of Conferences. 97 (1–2) (2015) 00017.
- Ghiglieri J.**, Energy loss at NLO in a high-temperature quark-gluon plasma, Nuclear Physics, A. 956 (December) (2017) 801–804.
- Adler S.S., Afanasiev S., Aidala C., et al.**, Nuclear modification of electron spectra and implications for heavy quark energy loss in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV // Phys. Rev. Lett. 96 (1–2) (2006) 032301.
- Adare A., Aidala C., Ajitanand N.N., et al.**, Low-mass vector-meson production at forward rapidity in $p+p$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV // Phys. Rev. D. 90 (5) (2014) 052002.
- Adare A., Afanasiev S., Aidala C., et al.**, Measurement of neutral mesons in $p+p$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV and scaling properties of hadron production // Phys. Rev. D. 83 (5) (2011) 052004.
- Mitrankov I.**, Scaling properties of high- p_T light hadrons from small to large systems by PHENIX // Proceedings of Science. 345 (1) (2018) 0108.

Received 26.03.2020, accepted 08.04.2020.

**THE AUTHORS****BORISOV Vladislav S.***Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation

borisov_vs@spbstu.ru

BERDNIKOV Yaroslav A.*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation

berdnikov@spbstu.ru

BERDNIKOV Alexander Ya.*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation

alexber@phmf.spbstu.ru

KOTOV Dmitry O.*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation

dmitriy.kotov@gmail.com

MITRANKOV Iurii M.*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation

mitrankovy@gmail.com