

DOI: 10.18721/JPM.12208
УДК 539.126.3

ИЗМЕРЕНИЕ ФАКТОРОВ ЯДЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЭТА-МЕЗОНОВ ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ ЯДЕР УРАНА

**П.В. Радзевич, А.Я. Бердников, Я.А. Бердников,
Д.О. Котов, С.В. Жарко**

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

В статье представлены инвариантные спектры рождения η -мезонов и факторы ядерной модификации η - и π^0 -мезонов, рожденных в столкновениях ядер урана при энергии 192 ГэВ. Эти данные получены на спектрометре PHENIX, расположенном на релятивистском коллайдере RHIC. Проведен анализ этих экспериментальных результатов, и они сопоставлены с аналогичными данными для столкновений ядер золота при энергии 200 ГэВ. Установлено, что выходы η - и π^0 -мезонов в центральных столкновениях ядер как урана, так и золота (при указанных значениях энергии) подавлены в равной степени. В периферийных же столкновениях факторы ядерной модификации η - и π^0 -мезонов, измеренные в столкновениях ядер урана, подавлены сильнее, чем данные факторы, полученные в столкновениях ядер золота. Анализ отношения спектров рождения η -мезонов к спектрам π^0 -мезонов, рожденных в столкновениях ядер урана при энергии 192 ГэВ, показал, что оно не зависит ни от класса центральности, ни от поперечного импульса.

Ключевые слова: кварк-глюонная плазма, эта-мезон, эффект гашения струй, фактор ядерной модификации

Ссылка при цитировании: Радзевич П.В., Бердников А.Я., Бердников Я.А., Котов Д.О., Жарко С.В. Измерение факторов ядерной модификации эта-мезонов при столкновениях ядер урана // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2019. Т. 12. № 2. С. 101–110. DOI: 10.18721/JPM.12208

THE MEASUREMENT OF ETA MESON NUCLEAR MODIFICATION FACTORS IN COLLISIONS OF URANIUM NUCLEI

**P.V. Radzevich, A.Ya. Berdnikov, Ya.A. Berdnikov,
D.O. Kotov, S.V. Zharko**

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

Invariant spectra of η mesons production and nuclear modification factors of η and π^0 mesons produced in collisions of uranium nuclei at energy of 192 GeV have been presented in the paper. This data was obtained using the PHENIX spectrometer of RHIC. These experimental results were analyzed and compared with similar data on collisions of gold nuclei at 200 GeV. The η and π^0 mesons yields in central collisions of both uranium and gold nuclei (at energy values mentioned) were established to be suppressed equally. In the peripheral collisions, the nuclear modification factors of η and π^0 mesons measured in the uranium nuclei collisions were suppressed more than those obtained in the gold ones. An analysis of a ratio of the η meson to π^0 meson production spectra in the uranium nuclei collisions (at 192 GeV) revealed that the ratio was independent of the centrality class and the transverse momenta.

Keywords: quark-gluon plasma, eta meson, jet-quenching effect, nuclear modification factor

Citation: P.V. Radzevich, A.Ya. Berdnikov, Ya.A. Berdnikov, D.O. Kotov, S.V. Zharko, The measurement of eta meson nuclear modification factors in collisions of uranium nuclei, St. Petersburg Polytechnical State University Journal. Physics and Mathematics. 12 (2) (2019) 101–110. DOI: 10.18721/JPM.12208

Введение

В 1970 году с помощью вычислений квантовой хромодинамики (КХД) был предсказан переход ядерной материи в кварк-глюонную плазму (КГП) в условиях высоких значений энергетических плотностей и/или температур ($\varepsilon \approx 1$ ГэВ/фм³, $T \approx 170$ МэВ) [1 – 5]. Изучение фазового перехода от бесцветной адронной материи к состоянию КГП проводится в экспериментах по столкновению ультрарелятивистских ядер. Исследование КГП вносит весомый вклад в современные представления об эволюции рождения Вселенной, так как на одном из этапов ее формирования температура Вселенной была эквивалента температуре КГП ($T \approx 10^{12}$ К) [6]. Поведение же ядерной материи в условиях высоких температур и энергетических плотностей несет информацию о природе сил между кварками и глюонами, и такие исследования широко востребованы в космологии для выявления свойств нейтронных звезд [7, 8].

Свойства КГП при столкновении ультрарелятивистских ядер выявляют путем анализа эффектов начального и конечного состояния ядерной материи. Эффект гашения адронных струй относится к явлениям конечного состояния ядерной материи и проявляется при столкновении тяжелых ядер с большой энергией [9]. Гашение адронных струй происходит в результате жесткого рассеяния партонов, рождающихся при столкновении тяжелых ультрарелятивистских ядер. Данный эффект изучается через измерение спектров рождения и факторов ядерной модификации адронов, которые рождаются в результате взаимодействия ядер. Степень подавления выхода адронов в области больших поперечных импульсов удобно оценивать с помощью эта-мезонов (далее используется термин с греческой буквой «эта» – η -мезоны).

Измерение спектров рождения и факторов ядерной модификации η -мезонов направлено на исследование эффекта гашения адронных струй в определенной сталкивающейся системе ядер. Сравнение спектров рождения и факторов ядерной модификации η -мезонов с таковыми для π^0 -мезонов позволяет получать зависимость гашения

адронных струй от массы рождающихся частиц, а также от их кваркового состава.

Особый интерес представляет бинарная система из сталкивающихся ядер урана ($U + U$) при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ. Ядра урана имеют несферическую форму, что позволяет изучать эффекты КГП при различных геометрических конфигурациях сталкивающихся ядер. В центральных столкновениях система сталкивающихся ядер $U + U$ обладает максимальной энергетической плотностью, доступной на релятивистском коллайдере тяжелых ионов (*англ.* The Relativistic Heavy Ion Collider – RHIC) [10].

Постановка и описание задачи

Целью данной работы является изучение особенностей рождения η -мезонов в столкновениях ядер урана $U + U$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ.

Для установления механизмов образования частиц, возникающих в результате рассеяния жестких партонов, которые рождаются в столкновении ядер $U + U$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ, было необходимо измерить спектры рождения η -мезонов и вычислить их факторы ядерной модификации. Инвариантные спектры рождения и факторы ядерной модификации η -мезонов анализируются с учетом их класса по центральности и в зависимости от поперечного импульса.

Поперечный импульс p_T характеризует энергию взаимодействия в системе сталкивающихся ядер. Центральность, измеряемая в процентах, – это степень перекрытия налетающих друг на друга ядер с фиксированным прицельным параметром. Столкновения с максимальной степенью перекрытия соответствуют величине 0 – 20 % и называются центральными, а столкновения с минимальной степенью перекрытия называются периферическими и соответствуют величине центральности 60 – 80 %.

Методика исследования

Для изучения эффекта гашения адронных струй с помощью η -мезонов, которые рождаются в столкновениях ядер $U + U$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ, разработана



методика, которая включает в себя следующие этапы:

подготовка экспериментальных данных;
измерение выхода η -мезонов в различных диапазонах p_T и классах по центральности;

вычисление эффективности регистрации частиц в детектирующей установке;

измерение инвариантных спектров рождения η -мезонов в столкновениях ядер $U + U$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ в различных диапазонах p_T и классах по центральности;

оценка систематических погрешностей измеренных величин;

измерение факторов ядерной модификации η -мезонов в столкновениях ядер $U + U$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ в различных диапазонах p_T и классах по центральности.

Экспериментальные данные, используемые в работе, получены на спектрометре PHENIX, расположенном на релятивистском коллайдере тяжелых ионов (RHIC). Для регистрации продуктов распада η -мезонов в канале $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ использовались электромагнитные калориметры. Такие устройства измеряют энергию и координаты фотонов, электронов и адронов, вылетающих из области взаимодействия ядер. Общий акцептанс системы электромагнитных калориметров на эксперименте PHENIX давал значения $\phi = 2 \cdot \pi/2$ по полярному углу и $|\eta| < 0,35$ по псевдобыстроте.

Система электромагнитных калориметров в эксперименте PHENIX состояла из двух подсистем: сцинтилляционного сэмплинг-калориметра PbSc и калориметра Черенкова со свинцовым стеклом PbG1. Каждый из используемых приборов имел собственную сегментацию. Использование двух типов калориметров позволяло выполнять перекрестную проверку результатов, полученных отдельно для каждой подсистемы PbSc и PbG1, в рамках одного эксперимента.

Подготовка экспериментальных данных. Производилась путем определения критериев отбора нужных событий, зарегистрированных в электромагнитном калориметре.

Для разделения сигналов, зарегистрированных при взаимодействии адронов и фотонов с активной областью электромагнитного калориметра, используются ограничения на форму зарегистрированных электронных ливней. В подсистеме PbSc

накладывается ограничение $\chi^2 < 3$, а в подсистеме PbG1 — $photon_prob > 0,02$. Здесь χ^2 и $photon_prob$ — статистические переменные, описанные в статье [11].

Средняя энергия, передаваемая заряженными адронами, составляет $E \approx 300$ МэВ. Поэтому для лучшего отделения сигналов, оставленных адронами, используется дополнительное ограничение на энергию восстановленных кластеров: $E\gamma > 400$ МэВ.

Для улучшения отношения уровня сигнала к фону используется ограничение на асимметрию энергии фотонов, комбинируемых при восстановлении η -мезона:

$$\frac{|E_{\gamma 1} - E_{\gamma 2}|}{E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2}} < 0,8.$$

Регистрация частиц во время столкновений ядер урана происходила в течение двадцати двух дней. За данный период времени могли произойти нежелательные отклонения в работе техники по множеству разных причин. Для учета данного обстоятельства производился анализ сегмента данных, в ходе которого отбрасывались сегменты данных с малым числом зарегистрированных событий.

Вершина взаимодействия (z_{coll}) является одним из основных параметров в сталкивающейся системе ядер. В эксперименте PHENIX этот параметр определялся с помощью счетчика ядро-ядерных столкновений. Для отбора данных использовалось ограничение на вершину

$$-20 < z_{coll} < +20,$$

так как в этом интервале эффективность счетчика ядро-ядерных столкновений, измеренная в столкновениях ядер $U + U$, является постоянной величиной.

Измерение выхода η -мезонов в различных диапазонах p_T и классах по центральности. Указанная процедура выполняется с помощью построения распределения по эффективной массе двух γ -квантов, отобранных после подготовки экспериментальных данных, в разных диапазонах по p_T и классах по центральности. Для определения выхода η -мезонов необходимо отделить полезный сигнал, который зарегистрирован в результате распада η -мезонов, от фона, который разделяется на коррелированную (пара γ -квантов является продуктом распада частиц) и некоррелированную (случайная комбинация γ -квантов) составляющие.

Для отделения некоррелированного фона производится комбинирование пар γ -квантов, взятых из двух разных событий, но обладающих сходными характеристиками (вершина и центральность). Строится распределение по эффективной массе скомбинированных γ -квантов (фон), нормируется в диапазоне

$$0,7 < M\gamma\gamma < 0,8 \text{ ГэВ}/c^2$$

на распределение по эффективной массе реальных событий (сигнал и фон) и вычитается из него.

Результат вычитания двух распределений аппроксимируется функцией Гаусса для описания сигнала от восстановленных η -мезонов и полиномом второй степени для описания остаточного коррелированного фона, в промежутке

$$0,40 < M\gamma\gamma < 0,75 \text{ ГэВ}/c^2$$

в диапазоне $p_T < 10 \text{ ГэВ}/c$

и

$$0,35 < M\gamma\gamma < 0,75 \text{ ГэВ}/c^2$$

в диапазоне $p_T > 10 \text{ ГэВ}/c$.

Определение выхода η -мезонов осуществляется подсчетом количества отсчетов и вычитанием интеграла под функцией полинома второй степени. Область подсчета выхода η -мезонов лежит в диапазоне

$$0,48 < M\gamma\gamma < 0,62 \text{ ГэВ}/c^2.$$

Вычисление эффективности регистрации частиц в детектирующей установке. Данная методика позволяет отделить количество η -мезонов, восстановленных в электромагнитном калориметре, от числа η -мезонов, попавших в активную область детектора.

Эффективность регистрации определяется с использованием моделирования прохождения η -мезонов в спектрометре PHENIX методом Монте-Карло. Для такого моделирования детекторной установки применяется специализированный пакет PISA, реализованный в GEANT 3 [11].

Эффективность регистрации вычисляется как отношение числа частиц, восстановленных в ходе моделирования, к первоначальному числу частиц.

Измерение инвариантных спектров рождения η -мезонов в столкновениях ядер U + U при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192 \text{ ГэВ}$ в различных диапазонах p_T и классах по центральности. Для указанного измерения используется следующая формула:

$$I_\eta(p_T) = dN_{AA}(p_T) = \frac{1}{2\pi p_T} \frac{N_\eta(p_T)}{N_{event} \Delta p_T \epsilon_{rec.ef}(p_T)}, \quad (1)$$

где N_η – выход нейтральных η -мезонов; $\epsilon_{rec.ef}$ – эффективность регистрации; N_{event} – количество анализируемых событий.

Инвариантные спектры рождения частиц измеряются в различных классах по центральности.

Оценка систематических погрешностей измеренных величин. Производится путем варьирования различных параметров (энергетическая шкала, энергетическое разрешение, взвешивающие коэффициенты, параметры при идентификации частиц, границы определения γ -кластеров, конверсия, геометрия экспериментальной установки и модели), используемых при измерении выходов η -мезонов.

Статистические и систематические ошибки факторов ядерной модификации вычисляются как сумма квадратов статистических и систематических ошибок числителя и знаменателя формулы (1).

Измерение факторов ядерной модификации η -мезонов в столкновениях ядер U + U при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192 \text{ ГэВ}$ в различных диапазонах p_T и классах по центральности. Для указанного измерения используется следующая формула:

$$R_{AA} = \frac{1}{\langle N_{coll} \rangle} \frac{dN_{AA}}{dN_{pp}},$$

где dN_{AA} , dN_{pp} – выходы адронов в столкновениях соответственно ядер ($A + A$) и протонов ($p + p$) в заданном интервале поперечных импульсов; $\langle N_{coll} \rangle$ – среднее число парных неупругих нуклон-нуклонных столкновений.

Величина $\langle N_{coll} \rangle$ определяется методом моделирования Монте-Карло с помощью теории Глаубера, которая учитывает геометрию сталкивающихся ядер. Нормировка на данное число применяется на основе предположения о том, что адроны рождаются в элементарных партон-партонных взаимодействиях.

Для изучения коллективных эффектов (эффекты конечного и начального состояния ядерной материи) в системе сталкивающихся ядер используют факторы ядерной модификации R_{AA} . Если значение фактора $R_{AA} = 1$, то коллективные эффекты в си-

стеме сталкивающихся ядер отсутствуют. Отличие значения R_{AA} от единицы говорит либо о подавлении, либо об избытке выхода частиц.

Результаты и их обсуждение

Инвариантные спектры рождения η -мезонов, измеренных в столкновении ядер урана (U + U) при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ, в зависимости от поперечного импульса для разных классов по центральности, представлены на рис. 1.

Спектры измерены в широком диапазоне значений поперечного импульса в центральных столкновениях (до 14 ГэВ/c). В области малых поперечных импульсов измерение спектров рождения ограничено из-за малой возможности детекторной установки. В области больших поперечных импульсов ограничение обусловлено недостаточным объемом статистических дан-

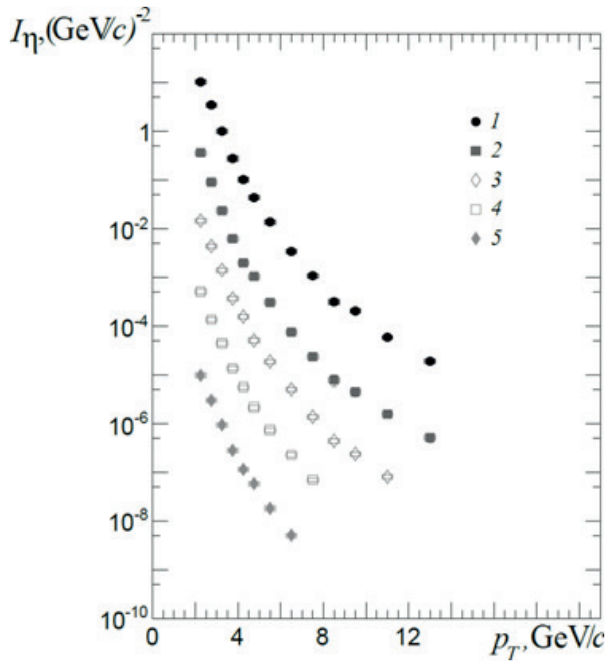


Рис. 1. Зависимости инвариантных спектров рождения η -мезонов, измеренных в столкновении ядер U + U, от поперечного импульса для различных классов по центральности, %: 0 – 80 (1), 0 – 20 (2), 20 – 40 (3), 40 – 60 (4), 60 – 80 (5); энергия $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ.

Здесь и далее условные обозначения на точках в виде вертикальных «усов» и серых горизонтальных прямоугольников отвечают статистическим и систематическим погрешностям измерений соответственно

ных.

На рис. 2 представлено сравнение факторов ядерной модификации η -мезонов, измеренных в столкновениях ядер урана (U + U) и золота (Au + Au) [12, 13] при энергиях $\sqrt{s_{NN}} = 192$ и 200 ГэВ, соответственно, при близких значениях величины N_{coll} (см. таблицу). Факторы ядерной модификации η -мезонов (см. рис. 2) вычислены по формуле (2) с использованием двух различных наборов среднего числа нуклон-нуклонных столкновений N_{coll} в различных классах по центральности в столкновении ядер U + U при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ.

Таблица

Значения числа столкновений N_{coll} в зависимости от их центральности для различных типов взаимодействий (см. рис. 2)

Центральность, %	N_{coll}	Рис.2
Au + Au (набор 1), 200 ГэВ		
0 – 5	$1065,4 \pm 105,3$	a)
20 – 40	$300,8 \pm 32,6$	b)
40 – 50	$120,3 \pm 13,7$	c)
60 – 92	$17,1 \pm 3,9$	d)
Au + Au (набор 2), 200 ГэВ		
0 – 10	$967,3 \pm 92,9$	a)
60 – 92	$17,2 \pm 3,5$	d)
U + U (вариант I), 192 ГэВ		
0 – 20	$934,5 \pm 97,5$	a)
20 – 40	$335,0 \pm 33,0$	b)
40 – 60	$95,9 \pm 13,0$	c)
60 – 80	$17,5 \pm 3,8$	d)
U + U (вариант II), 192 ГэВ		
0 – 20	$999,0 \pm 114,0$	a)
20 – 40	$375,0 \pm 45,0$	b)
40 – 60	$110,0 \pm 14,6$	c)
60 – 80	$19,7 \pm 4,4$	d)

Примечание. Наличие разных вариантов в столкновениях ядер урана обусловлено различной степенью деформации ядра урана при вычислении числа нуклонов N_{coll} в модели Глаубера [12, 13].

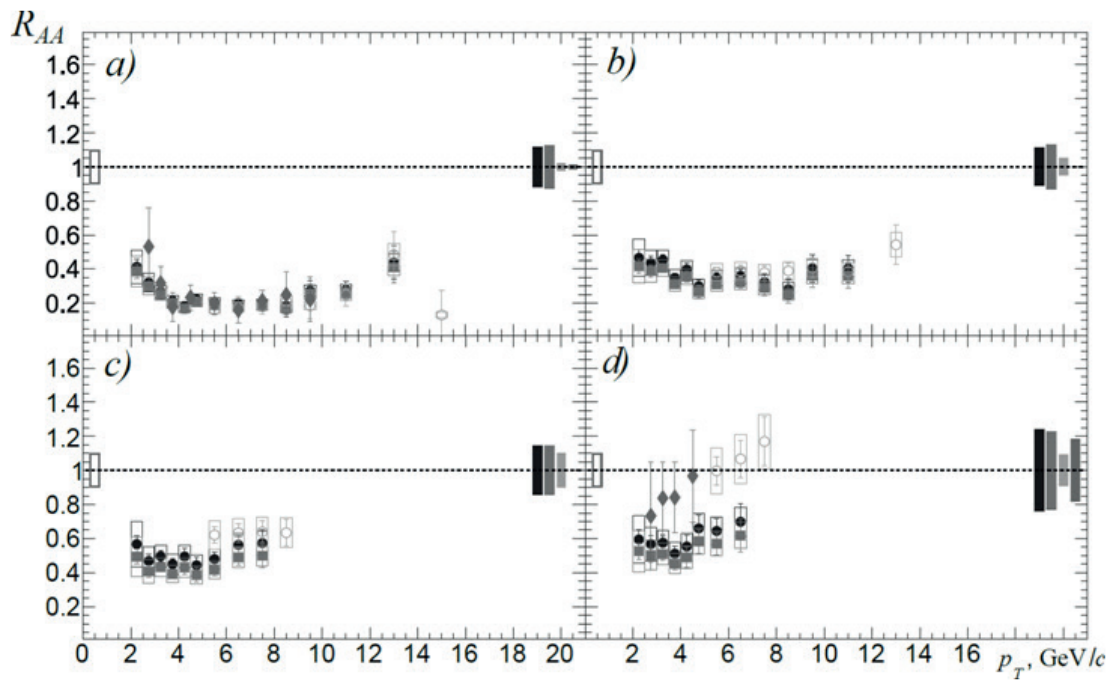


Рис. 2. Зависимости величины фактора ядерной модификации R_{AA} от поперечного импульса p_T для η -мезонов в (U+U)-взаимодействиях (закрашенные круглые и квадратные маркеры) и (Au+Au)-взаимодействиях (круглые и ромбовидные маркеры) [12, 13] при значениях энергии 192 и 200 ГэВ соответственно (см. таблицу)

Прямоугольники против пунктирных линий указывают величину систематической погрешности N_{coll}

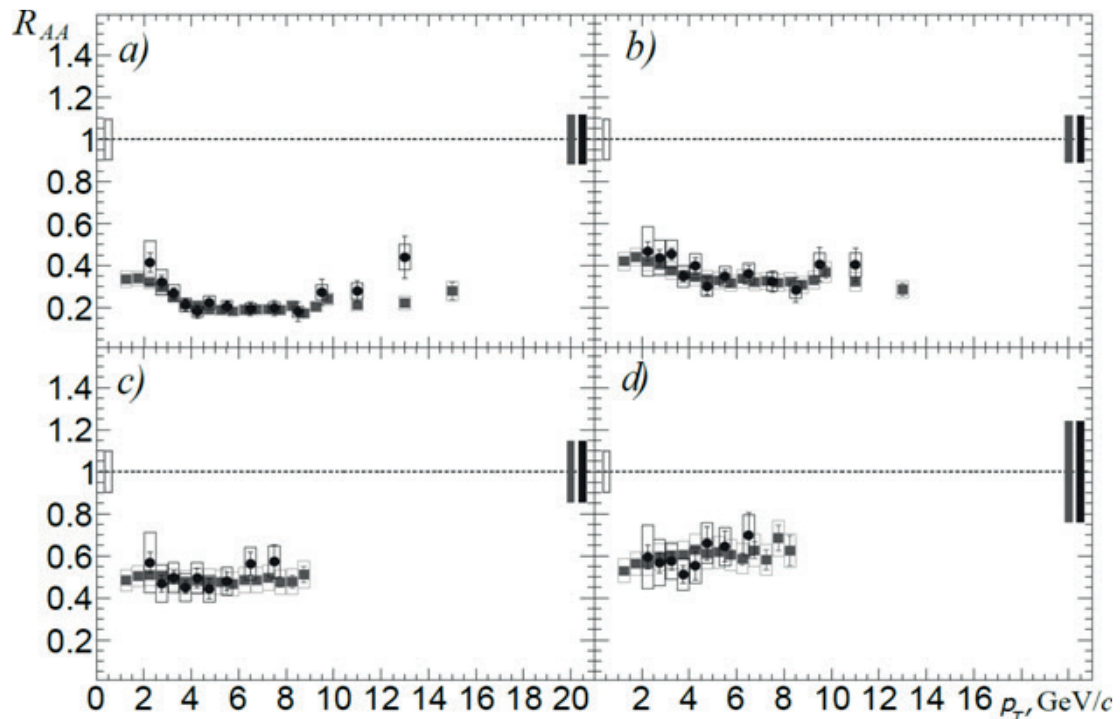


Рис. 3. Зависимости величины фактора ядерной модификации R_{AA} от поперечного импульса p_T для π^0 -мезонов (квадратные маркеры) и η -мезонов (круглые маркеры) в (U+U)-взаимодействиях при значениях энергии для различных классов по центральности, %: 0 – 20 (a), 20 – 40 (b), 40 – 60 (c), 60 – 80 (d).

Прямоугольники против пунктирных линий указывают величину систематической погрешности N_{coll}

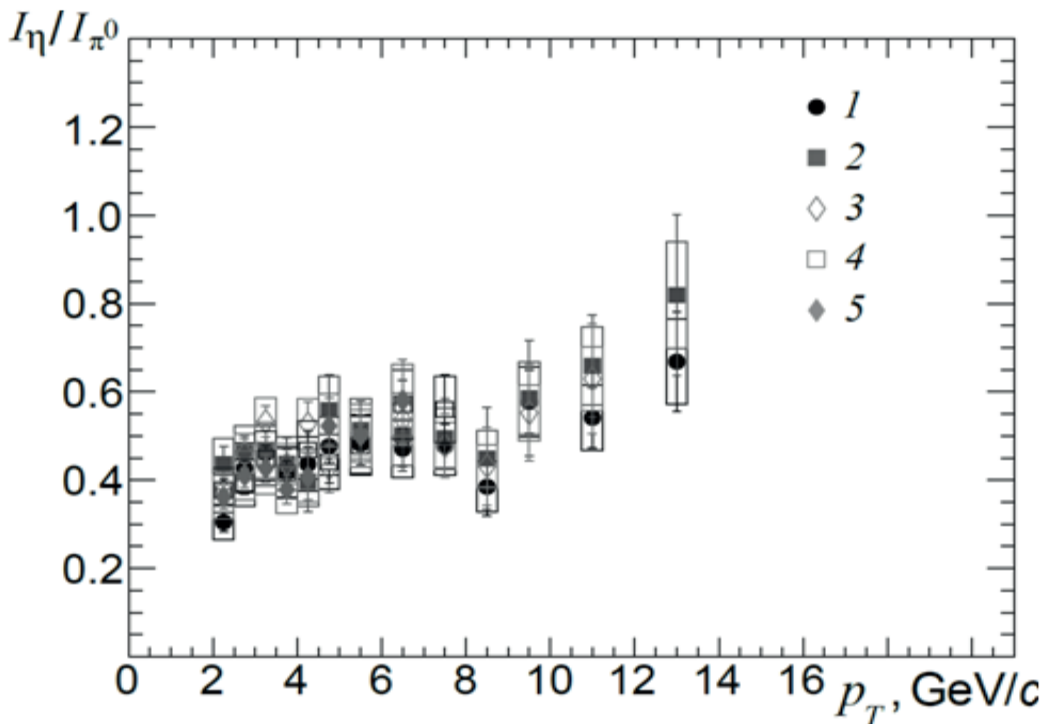


Рис. 4. Зависимость отношения интенсивности спектров рождения η -мезонов к интенсивности спектров рождения π^0 -мезонов, измеренных в столкновении ядер U+U при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ, от поперечного импульса для различных классов по центральности, %: 0 – 80 (1), 0 – 20 (2), 20 – 40 (3), 40 – 60 (4), 60 – 80 (5)

Два набора переменных N_{coll} используются ввиду неравномерного распределения нуклонов в сферически несимметричных ядрах урана.

При больших значениях N_{coll} величины факторов ядерной модификации, измеренные в столкновениях ядер урана и золота при энергиях $\sqrt{s_{NN}} = 192$ и 200 ГэВ соответственно, совпадают, что свидетельствует о независимости проявления эффекта гашения струй от геометрической формы сталкивающихся ядер.

При малых значениях N_{coll} наблюдается некоторое различие в величинах факторов ядерной модификации, полученных в столкновениях ядер урана и золота при энергиях $\sqrt{s_{NN}} = 192$ и 200 ГэВ соответственно, однако вследствие больших систематических ошибок невозможно однозначно разделить исследуемые величины.

На рис. 3 представлено сравнение факторов ядерной модификации π^0 - и η -мезонов, измеренных в столкновениях ядер урана U + U при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ, в различных классах по центральности. Видно, что указанные величины совпадают в

пределах систематических и статистических погрешностей во всем диапазоне поперечного импульса и во всех классах по центральности.

Поведение отношения интенсивностей спектров η/π^0 , измеренных в столкновениях ядер урана при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ (рис. 4), в итоге не зависит от центральности и поперечного импульса в пределах систематических погрешностей.

Заключение

В настоящей работе представлены результаты измерения инвариантных спектров η -мезонов в пяти классах по центральности и факторов ядерной модификации η -мезонов в четырех классах по центральности в зависимости от поперечного импульса при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ в столкновениях ядер урана (U + U).

Равное значение факторов ядерной модификации η -мезонов для сталкивающихся систем урана (U + U) и золота (Au + Au) при равном числе средних парных неупругих нуклон-нуклонных столкновений в области больших поперечных импульсов, в центральных и полуженальных столкно-

вениях, говорит о независимости эффектов конечного состояния от геометрических свойств сталкивающихся ядер.

Установлено, что выход η -мезонов в периферических столкновениях ядер урана при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ подавлен в большей степени, чем в столкновениях золота (Au+Au) при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ, но из-за больших систематических и статистических погрешностей оказалось невозможным однозначно разделить полученные величины.

Анализ данных по отношению спектров η/π^0 и сравнение факторов ядерной модификации π^0 - и η -мезонов позволили отметить независимость фрагментации жестких партонов от массы и состава кварков π^0 - и η -мезонов, рождающихся в парных столкновениях ядер урана при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 192$ ГэВ.

Результаты настоящей работы были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 3.1498.2017/4.6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Greutz M. Gauge fixing, the transfer matrix, and confinement on a lattice // Phys. Rev. D. 1977. Vol. 15. No. 4. Pp. 1128–1136.
2. Wilson K.G. Confinement of quarks // Phys. Rev. D. 1974. Vol. 10. No. 8. Pp. 2445–2459.
3. Wilson K.G., Walkout T.S., Harindranath A., Zhang W.-M., Perry R.J., Glazek D.S. Nonperturbative QCD: A weak-coupling treatment on the light front // Phys. Rev. D. 1994. Vol. 49. No. 12. Pp. 6720–6766.
4. Laermann E., Philipsen O. The status of lattice QCD at finite temperature // Annual Review of Nuclear and Particle Science. 2003. Vol. 53. Pp. 163–198.
5. 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 // Nucl. Phys. A. 2005. Vol. 757. No. 1–2. Pp. 184–283.
6. Karsch F. Lattice QCD at high temperature and density // Lectures on quark matter. Plessas W., Mathelitsch L. (Eds). Lecture Notes in Physics. 2002. Vol. 583. Berlin: Springer. Pp. 209–249.
7. Collins J.C. Superdense matter: neutrons or asymptotically free quarks? // Phys. Rev. Lett. 1975. Vol. 34. No. 21. Pp. 1353–1356.
8. Rajagopal K. The phases of QCD in heavy ion collisions and compact stars // AIP Conference Proceedings. 2000. Vol. 549. No. 1. Pp. 95–119.
9. Бердников А.Я., Бердников Я.А., Жарко С.В., Котов Д.О., Радзевич П.В. Экспериментальные исследования рождения π -мезонов в U+U-взаимодействиях при энергии 192 ГэВ // Известия РАН. Сер. физическая. 2018. Т. 82. № 10. С. 1391–1394.
10. Iordanova A. U+U and Cu+Au results from PHENIX // Journal of Physics: Conference Series. 2013. Vol. 458. P. 012004.
11. Adler S.S., Chujo T., Desmond E.J., et al. PHENIX on-line and off-line computing // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2003. Vol. 499. No. 2/3. Pp. 593–602.
12. Adler S.S., et al. (PHENIX Collaboration), High transverse momentum η meson production in $p + p$, $d + Au$ and $Au + Au$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV // Phys. Rev. C. 2007. Vol. 75. No. 2. P. 024909.
13. Adare A., et al. (PHENIX Collaboration), Transverse momentum dependence of η meson suppression in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV // Phys. Rev. C. 2010. Vol. 82. No. 1. P. 011902.

Статья поступила в редакцию 04.02.2019, принята к публикации 11.03.2019.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

РАДЗЕВИЧ Павел Владиславович – аспирант кафедры экспериментальной ядерной физики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

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



БЕРДНИКОВ Александр Ярославич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экспериментальной ядерной физики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

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

БЕРДНИКОВ Ярослав Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой экспериментальной ядерной физики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

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

КОТОВ Дмитрий Олегович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экспериментальной ядерной физики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

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

ЖАРКО Сергей Вячеславович – ассистент кафедры экспериментальной ядерной физики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

195251, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29
zharkosergey94@gmail.com

REFERENCES

1. Greutz M., Gauge fixing, the transfer matrix, and confinement on a lattice, Phys. Rev. D. 15 (4) (1977) 1128–1136.
2. Wilson K.G., Confinement of quarks, Phys. Rev. D. 10 (8) (1974) 2445–2459.
3. Wilson K.G., Walhout T.S., Harindranath A., et al., Nonperturbative QCD: A weak-coupling treatment on the light front, Phys. Rev. D. 49 (12) (1994) 6720–6766.
4. Laermann E., Philipsen O., The status of lattice QCD at finite temperature, Annual Review of Nuclear and Particle Science. 53 (2003) 163–198.
5. 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, Nucl. Phys. A. 757 (1–2) (2005) 184–283.
6. Karsch F., Lattice QCD at high temperature and density, In: Lectures on quark matter, W. Plessas, L. Mathelitsch (Eds), Lecture Notes in Physics, Berlin: Springer. 582 (2002) 209–249.
7. Collins J.C., Superdense matter: neutrons or asymptotically free quarks? Phys. Rev. Lett. 34 (21) (1975) 1353–1356.
8. Rajagopal K., The phases of QCD in heavy ion collisions and compact stars, AIP Conference Proceedings. 549 (1) (2000) 95–119.
9. Berdnikov A.Ya., Berdnikov Ya.A., Zharko S.V., et al., Experimental study of pion production in U + U interactions at 192 GeV, Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 82 (10) (2018) 1262–1265.
10. Iordanova A., U+U and Cu+Au results from PHENIX, Journal of Physics: Conference Series. 458 (2013) 012004.
11. Adler S.S., Chujo T., Desmond E.J., et al., PHENIX on-line and off-line computing, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 499 (2/3) (2003) 593–602.
12. Adler S.S., et al. (PHENIX Collaboration), High transverse momentum η meson production in $p + p$, $d + Au$ and $Au + Au$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV, Phys. Rev. C. 75 (2) (2007) 024909.
13. Adare A., et al. (PHENIX Collaboration), Transverse momentum dependence of η meson suppression in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV, Phys. Rev. C. 82 (1) (2010) 011902.

Received 04.02.2019, accepted 11.03.2019.

THE AUTHOR

RADZEVICH Pavel V.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation
radzevichp@gmail.com

BERDNIKOV Alexander Ya.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation
alexber@phmf.spbstu.ru

BERDNIKOV Yaroslav A.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation
berdnikov@spbstu.ru

KOTOV Dmitry O.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation
dmitriy.kotov@gmail.com

ZHARKO Sergei V.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russian Federation
zharkosergey94@gmail.com