

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
Санкт-Петербургский

государственный университет

С. В. Микушев

25 марта 2023 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» на диссертацию Митранковой Марии Максимовны тему «Рождение ϕ -мезонов в $p+Al$, $p+Au$, $d+Au$ и ${}^3He+Au$ взаимодействиях при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.15. "Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий".

Актуальность темы выполненной работы

Актуальность темы исследований не вызывает сомнений. Это связано с недавними изменениями общей парадигмы фундаментальных исследований в области физики релятивистских ядерных столкновений, где образование кварк-глюонной плазмы (КГП) - материи в экстремальных состояниях высоких температур, давлений, и плотностей, предполагалось только в столкновениях релятивистских ядер. При этом протон-протонные столкновения при высоких энергиях рассматривались лишь как элементарные, а исследования протон-ядерных были нужны лишь в качестве оценок эффектов так называемой холодной ядерной материи. Однако целый ряд новых экспериментальных данных, полученных в последнее время при

высоких энергиях для столкновений малых систем, таких как $p+A$ и $p+p$, выявил целый ряд явлений, ранее характерных только для релятивистских ядро-ядерных. Среди них азимутальные потоки, в том числе и в случае протон-протонных столкновений, повышенный выход странности в событиях с большой множественностью как в $p+A$ так и в $p+p$ столкновениях. В эксперименте ALICE такие наблюдения были интерпретированы как возможные свидетельства в пользу образования КГП в системах $p+p$ или $p+Pb$. Поэтому новые исследования возможных проявлений КГП в столкновениях легких систем, таких как $p+Al$, $p+Au$, $d+Au$ и ^3He+Au при энергии коллайдера RHIC, безусловно, представляют большой интерес. Так как увеличенный выход частиц, содержащих странные кварки, является одним из важных сигналов образования КГП, то измерения выходов векторных ϕ -мезонов – частиц, являющихся легчайшим связанным состоянием $s/(\text{анти})s$ -кварков, должно быть хорошим инструментом исследований процессов образования странности в столкновениях легких систем.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Целью работы М. М. Митранковой является экспериментальное изучение рождения ϕ -мезонов в столкновениях $p+Al$, $p+Au$, $d+Au$ и ^3He+Au при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ в области малых псевдобыстрот ($|\eta| < 0.35$), а также исследование основного механизма рождения ϕ -мезонов в рассматриваемых системах взаимодействий при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ.

Научная новизна исследования состоит в том, что в работе впервые представлена методика исследования рождения ϕ -мезонов в столкновениях легких систем $p+Al$, $p+Au$ и ^3He+Au при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ в области малых псевдобыстрот в эксперименте PHENIX, впервые

проведены измерения инвариантных спектров по поперечному импульсу рождения ϕ -мезонов в столкновениях этих легких систем и выполнено сравнение полученных экспериментальных результатов с ранее полученными данными и с предсказаниями теоретических пакетов PYTHIA/Angantyr, PYTHIA+EPPS16, PYTHIA+nCTEQ15, AMPT, а также сделаны и обоснованы физические выводы:

1. Впервые измерены инвариантные спектры по поперечному импульсу рождения ϕ -мезонов в столкновениях $p+Al$, $p+Au$ и ${}^3He+Au$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ в области малых псевдобыстрот ($|\eta| < 0.35$).
2. Впервые измерены факторы ядерной модификации, R_{xA} , ϕ -мезонов в столкновениях $p+Al$, $p+Au$ и ${}^3He+Au$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ в области малых псевдобыстрот ($|\eta| < 0.35$).
3. Впервые проведено сравнение экспериментально измеренных значений факторов ядерной модификации и инвариантных спектров рождения ϕ -мезонов во взаимодействиях $p+Al$, $p+Au$ и ${}^3He+Au$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ с предсказаниями теоретических моделей PYTHIA/Angantyr, PYTHIA + nCTEQ15, PYTHIA + EPPS16; и AMPT в различных конфигурациях.
4. Впервые выдвинуто научное предположение о различии механизмов рождения ϕ -мезонов при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ в столкновениях $p+Al$ и столкновениях $p/d/{}^3He+Au$.

К наиболее существенным новым результатам и выводам, сделанным в работе, можно отнести следующее:

1. Впервые представлена адаптированная и модернизированная методика исследования рождения ϕ -мезонов в столкновениях $p+Al$, $p+Au$ и ${}^3He+Au$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ в центральной области псевдобыстрот в эксперименте PHENIX. Измерены инвариантные спектры рождения и факторы ядерной модификации ϕ -мезонов в зависимости от поперечного

импульса во взаимодействиях $p+Al$, $p+Au$ и ${}^3He+Au$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ в области малых псевдобыстрот ($|\eta| < 0.35$).

2. В центральных (0% – 20%) столкновениях $p+Au$ в области промежуточного поперечного импульса $2 < p_T$ [ГэВ/с] < 5 факторы ядерной модификации ϕ -мезонов имеют меньшие значения, чем факторы ядерной модификации антипротонов (анти- p), что может быть объяснено в рамках рекомбинационной модели адронизации.

3. Рождение ϕ -мезонов в столкновениях $p+Al$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ может быть описано в рамках модели фрагментации, тогда как рождение ϕ -мезонов в столкновениях $p/d/{}^3He+Au$ при той же энергии может быть описано с использованием модели рекомбинации в области промежуточного поперечного импульса ($2 < p_T$ [ГэВ/с] < 5).

Значимость для науки и практики полученных результатов

Результаты и выводы, полученные в работе, хорошо обоснованы. Достоверность и обоснованность всех полученных результатов подтверждается как использованием существующих современных теоретических подходов и Монте-Карло генераторов (МК) событий на их основе, так и детальным учетом эффективности регистрации векторных мезонов в кинематике коллайдера RHIC.

Научная значимость результатов исследования

1) Научное предположение о различии механизмов образования ϕ -мезонов во взаимодействиях $p+Al$ по сравнению с взаимодействиями более тяжелых систем $p+Au$, $d+Au$ и ${}^3He+Au$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ послужит для дополнения картины фазового перехода КХД и углубления понимания физических процессов в рамках стандартной модели.

2) Результаты важны для настройки параметров разнообразных МК генераторов событий, используемых для анализа данных в этой области энергий адронных столкновений.

Практическая значимость работы

1. Представленная в диссертации методика исследования рождения ф-мезонов может быть использована для аналогичных исследований в других системах столкновений, при других энергиях или для иных резонансов, распадающихся на две разнозаряженные частицы. Представленные методики анализа экспериментальных данных могут быть адаптированы и применены при анализе экспериментальных данных экспериментов MPD (NICA), ALICE, ATLAS (LHC) и CBM (FAIR).

2. Величины измеренных инвариантных спектров по поперечному импульсу могут быть использованы для настройки параметров в ряде Монте-Карло генераторов.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Научные данные и выводы диссертационной работы могут быть использованы в Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ), Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова (МГУ), в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), Федеральном государственном бюджетном учреждении «Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ КИ ПИЯФ) и Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ), где ведутся исследования КГП в столкновениях адронов.

Замечания по работе.

К некоторым недостаткам работы можно отнести следующее:

1. Среднее число бинарных неупругих столкновений $\langle N_{\text{столкн.}} \rangle$ в формуле фактора ядерной модификации (3.16), не является непосредственно наблюдаемой в эксперименте величиной. Эта величина $\langle N_{\text{столкн.}} \rangle$ вычисляется в рамках Глауберовской модели, где присутствуют многочисленные допущения и, таким образом, в экспериментальный результат вносится некоторая модельная нормировка. Хотя это и является сегодня общепринятым в сообществе физики высоких энергий, но мы считаем, что было бы более корректно говорить в работе о вычислении фактора ядерной модификации, но не о его измерении. (Более подробно можно посмотреть в работе: "Centrality and multiparticle production in ultrarelativistic nuclear collisions" /Т. А. Drozhzhova [и др.] // Phys. Atom. Nucl. — 2016. — т. 79, № 5. — с. 737—748.)

2. Очень интересно, что в работе М. М. Митранковой для рассматриваемых случаев легких систем столкновений (min.bias) была сделана проверка числа $\langle N_{\text{столкн.}} \rangle$ в рамках двух генераторов событий (PYTHIA/Angantyr и AMPT), в которых выполняются законы сохранения энергии и импульса при учете рождения частиц в неупругих процессах бинарных нуклонных столкновений. Результаты представлены в Таблицах 7 и 10. Было бы желательно выполнить аналогичные расчеты и для нескольких классов центральности, чтобы сопоставить с данными Таблицы 1, основанными на применении модели Глаубера. Это позволило бы дать дополнительную информацию о систематических погрешностях факторов ядерной модификации.

3. Техническая погрешность: в списке литературы ссылки 38 и 49 совпадают.

Заключение

Диссертационное исследование Митранковой Марии Максимовны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи -- измерений выходов ϕ -мезонов по каналу распада на два разнозаряженных K -мезона во взаимодействиях $p+Al$, $p+Au$ и ${}^3\text{He}+Au$ при энергии $\sqrt{s_{NN}} = 200$ ГэВ в области центральных псевдобыстрот, имеющей важное значение для исследования механизмов рождения ϕ -мезонов во взаимодействиях разных легких систем. Работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции Правительства Российской Федерации от 21.04.2016 г. № 335; от 02.08.2016 г. № 748; от 01.10.2018 г. № 1168), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Митранкова Мария Максимовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 - "Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий".

Отзыв составлен заведующим Лабораторией физики сверхвысоких энергий СПбГУ, кандидатом физико-математических наук, доцентом Феофиловым Григорием Александровичем и одобрен на заседании Лаборатории физики сверхвысоких энергий СПбГУ (протокол № 44/12/18-02-1 от 22 марта 2023). Присутствовало на заседании 11 человек, приняли участие в обсуждении – 11 чел. Результаты голосования: «за» - 11 чел, «против» – 0 чел., «воздержалось» - 0 чел.

Заведующий Лабораторией физики сверхвысоких энергий СПбГУ,
доцент, кандидат физико-математических наук

Феофилов Г. А.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Почтовый адрес: 199034, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

Университетская наб., д. 7/9

Телефон: +7 (812) 328-20-00

E-mail: spbu@spbu.ru

Web-сайт: <https://spbu.ru/>

