



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Адрес: ИЯИ РАН, проспект 60-летия Октября, 7а. Москва, 117312

Телефоны: 8(499)135-77-60, 8(495)850-42-01,

8(495)850-42-16, 8(916)139-29-97 (общий отдел)

Факс: 8(499)135-22-68, 8(495)850-42-28

Электронная почта: inr@inr.ac.ru, inr@inr.ru; Интернет: www.inr.ru, www.inr.ac.ru

01.02.18 № 2699122-25-01-65

На № _____

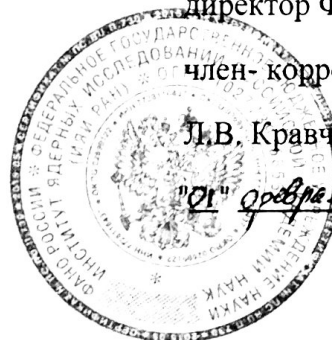
УТВЕРЖДАЮ

директор ФГБУН ИЯИ РАН

член-корреспондент

Л.В. Кравчук

"01" февраля 2018 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации - Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук на диссертацию **Шульги Евгения Александровича** «Спектры заряженных частиц и факторы ядерной модификации в протон - ядерных ($p+^{208}\text{Pb}$) взаимодействиях при энергии 5,02 ТэВ на пару нуклонов в эксперименте ATLAS на БАК» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 «физика ядра и элементарных частиц».

В диссертации Е.А. Шульги проводится анализ новых экспериментальных данных по рождению заряженных адронов в ультрарелятивистских $p+\text{Pb}$ взаимодействиях при энергии в нуклон-нуклонном центре масс $\sqrt{s_{NN}}=5,02$ ТэВ в эксперименте ATLAS на Большом Адронном Коллайдере (БАК) в ЦЕРНе. Им была проведена коррекция полученных экспериментальных спектров и оценка систематических погрешностей с использованием метода Монте-Карло моделирования. Были разработаны различные критерии отбора событий и треков частиц. Е.А.Шульга провел расчет факторов ядерной модификации для заряженных адронов в зависимости от поперечного импульса, быстроты и псевдобыстроты для различных интервалов центральности столкновений. В расчетах факторов ядерной модификации использовалась как модель Глаубера, так и модель цветовой неустойчивости Глаубера - Грибова, учитывающая флуктуирующую природу нуклон-нуклонного сечения взаимодействия при столкновениях протонов с ядрами. Е.А.Шульга показал, что результаты расчетов для двух моделей существенно отличаются, что свидетельствует о необходимости улучшения методов определения центральности в протон - ядерных и ядро - ядерных столкновениях.

Актуальность проблемы заключается в том, что одной из основных задач БАК является исследование свойств горячей сильновзаимодействующей материи, образующейся при взаимодействии ультрарелятивистских ядер. Для этого важно разделение эффектов начального состояния (холодной ядерной материи) и конечного состояния (образования кварк - глюонной материи, КГМ). Предполагалось, что в протон - протонных и протон - ядерных столкновениях КГМ не образуется и что при их измерении могут быть получены эффекты холодной ядерной материи, что позволит исследовать свойства КГМ в ядро- ядерных столкновениях. Однако, сначала коллаборацией CMS на БАК, а в дальнейшем и другими коллаборациями БАК (ALICE, LHCb и ATLAS) были обнаружены дальнедействующие азимутальные корреляции заряженных адронов в p - p , а затем и в p -A столкновениях, что может быть проявлением возможного образования КГМ уже в таких системах при ультрарелятивистских энергиях. Измерение спектров заряженных частиц в p - p , p -A и A-A столкновениях и их сравнение важно для изучения свойств образующейся материи. Для определения центральности взаимодействия часто используется число неупругих нуклон-нуклонных взаимодействий. Расчет числа нуклонов, участвующих во взаимодействии, N_{part} , обычно проводят в модели Глаубера. Однако при ультрарелятивистских энергиях налетающая частица взаимодействует сразу с несколькими нуклонами мишени, что приводит к образованию неупругих промежуточных состояний. Модель Глаубера- Грибова, учитывающая этот эффект, приводит к значительному изменению распределения по N_{part} , что влияет на определение центральности столкновения. Получение спектров и расчет факторов ядерной модификации заряженных адронов, проведенный Е.А. Шульгой, с использованием как модели Глаубера, так и модели Глаубера- Грибова расширяют область экспериментальных данных и могут быть использованы для тестирования теоретических моделей, направленных на описание структуры нуклонов в ядрах, а также для изучения свойств образовавшейся материи.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и библиографии. Полный объем диссертации составляет 134 страницы с 78 рисунками и 14 таблицами. Список литературы состоит из 147 источников.

Во **введении** дано общее описание тематики, рассматриваемой в диссертации.

В **первой главе** кратко рассмотрены теоретические основы, общий подход и обзор экспериментальных результатов для изучения эффектов холодной ядерной материи. Дается определение центральности в p +Pb взаимодействиях. Описывается применение

модели Глаубера и модели цветовой неустойчивости Глаубера- Грибова с двумя значениями цветового экранирования для определения числа нуклонов- участников, N_{part} . Влияние ядра на структурную функцию нуклона описывается при помощи фактора ядерной модификации R_{pPb} .

Во **второй главе** дается краткое описание установки ATLAS на БАК.

В **третьей главе** описывается отбор событий и дается определение интервалов центральности, используемых в эксперименте ATLAS. Приведен список наборов данных, используемых в работе, указаны периоды набора данных, сталкивающиеся системы, энергии в системе нуклон-нуклонного центра масс и интегральные светимости.

В **четвертой главе** описывается анализ спектров заряженных частиц с поперечным импульсом $p_T < 22$ ГэВ. Автором разработан и апробирован метод, позволяющий получить полностью скорректированные спектры первичных заряженных частиц. Метод заключается в отборе событий и треков, расчете и применении коррекций для восстановленных спектров, в оценке систематических погрешностей.

В **пятой главе** описывается анализ спектров заряженных частиц с поперечным импульсом $p_T > 22$ ГэВ. Для восстановления спектров с большим поперечным импульсом в использовавшийся прежде метод автор внес дополнения. Требуется более жесткий отбор треков с поправками на эффективность восстановления треков и на различие масс частиц. Также проведена оценка систематических погрешностей.

В **шестой главе** представлены полученные спектры заряженных адронов и факторы ядерной модификации. Спектры представлены в зависимости от поперечного импульса для четырех интервалов псевдобыстроты. Множественность заряженных частиц приведена в зависимости от быстроты в N-N системе центра масс для пяти интервалов центральности. Представлены расчеты факторов ядерной модификации R_{CP} и R_{pPb} . Показано, что в p -Pb взаимодействиях не наблюдается подавления рождения заряженных частиц. Также показано, что использование модели Глаубера - Грибова позволяет получить значения фактора ядерной модификации R_{pPb} для высоких значений поперечного импульса.

В **заключении** перечислены основные результаты диссертации и выводы.

Содержание диссертации отражает научные результаты и положения, выносимые на защиту, свидетельствуют о личном вкладе автора в работу. В целом, диссертация

Е.А.Шульги представляет собой завершенное исследование актуальной задачи. Работа выполнена на высоком уровне, поставленные задачи успешно решены.

Научная новизна и практическая ценность. В диссертации Е.А.Шульги впервые получены инклюзивные спектры заряженных адронов в p -Pb взаимодействиях при энергии в нуклон-нуклонном центре масс $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ ТэВ, измеренные в эксперименте ATLAS, и для восьми интервалов центральности и в расширенных диапазонах псевдобыстроты (до $|\eta| < 2.3$) и поперечного импульса $0.1 < p_T < 189$ ГэВ. Автором разработан и апробирован метод, позволяющий получить полностью скорректированные спектры первичных заряженных частиц. Разработаны критерии отбора событий и треков, проведен расчет и коррекция восстановленных спектров, оценены систематические погрешности. Этот метод и критерии отбора событий могут быть использованы и в других физических анализах экспериментов на БАК.

Впервые представлены расчеты факторов ядерной модификации R_{CP} и R_{pPb} как в модели Глаубера, так и в модели цветовой неустойчивости Глаубера-Грибова, позволяющей учитывать флуктуирующую природу нуклон-нуклонного взаимодействия. Показано, что использование модели Глаубера - Грибова позволяет получить значения фактора ядерной модификации R_{pPb} для высоких значений поперечного импульса. Этот результат важен для улучшения определения центральности, для совершенствования и тестирования теоретических моделей.

Обоснованность и достоверность выводов и заключений. Достоверность основных выводов диссертации обеспечена высоким уровнем и статистической обеспеченностью экспериментальных данных, полученных на установке ATLAS, использованием стандартного программного обеспечения ATLAS, проведением полного моделирования методом Монте-Карло. Факторы ядерной модификации, полученные в диссертации Е.А.Шульги, находятся в согласии с измерениями, полученными на установках ALICE и CMS в p -Pb взаимодействиях при энергии в нуклон-нуклонном центре масс $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ ТэВ. Результаты, полученные в диссертации, опубликованы в рецензируемых журналах.

Диссертация выполнена на хорошем уровне, свободна от существенных недостатков, однако можно сделать следующие замечания:

1. Во введении было бы полезно более кратко излагать основы релятивистской ядерной физики и более подробно сделать литературный обзор данных не только о p -A, но и об A-A взаимодействиях в области релятивистских энергий.

2. В положении 1, выносимом на защиту, правильно сказано о том, что автор разработал и апробировал метод отбора и коррекции событий. Однако, утверждение, что "в результате применения метода в работе, диапазон измерений определяется исключительно параметрами детектора и объемом имеющихся данных" представляется спорным, так как всегда параметры детектора определяют диапазон измерений.

3. В работе получены факторы ядерной модификации при помощи двух геометрических моделей Глаубера и Глаубера-Грибова с двумя различными параметрами. Установлено существенное различие результатов для двух моделей. Однако, не сделан окончательный вывод, какая из моделей и с какими параметрами является предпочтительной при анализе данных. Также "необходимость пересмотра и улучшения подходов, используемых для определения центральности" требуется не только "в асимметричных системах, таких как $p+Pb$ ", но и в $A-A$ соударениях также, так как флуктуирующая природа нуклон-нуклонного сечения взаимодействия важна и при столкновениях ядер с ядрами.

4. При расчете факторов ядерной модификации для $p-Pb$ взаимодействиях при энергии в нуклон-нуклонном центре масс $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ ТэВ автор использует экспериментальные данные $p-p$ столкновений при энергиях 2,76 и 7 ТэВ, экстраполированные к энергии 5,02 ТэВ. Однако, имеются и экспериментальные данные 2015 г. $p-p$ столкновений при энергии 5,02 ТэВ. Полезно было бы провести расчеты и с этими данными и сравнить результаты.

5. В диссертации довольно много опечаток, не вполне литературных формулировок и выражений, а также есть термины, применяемые в англоязычных публикациях (например, термин "легенда" для обозначений на рисунках), но не в статьях на русском языке. Не всегда корректно указаны ссылки на публикации (например, [75]), часто нет первого автора в публикациях коллабораций.

Несмотря на отмеченные недостатки диссертация Е.А.Шульги представляет собой законченную научно-квалификационную работу и соответствует специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц. **Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.** Основные результаты диссертации доложены на конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах, удовлетворяющих требованиям ВАК.

Диссертация Е.А.Шульги была доложена и обсуждена на семинаре Лаборатории Релятивистской Ядерной Физики Отдела Экспериментальной Физики ИЯИ РАН и НТС отдела экспериментальной физики 1 февраля 2018 г. Диссертация Е.А.Шульги является

законченной научно-квалификационной работой, в которой проводится анализ новых экспериментальных данных по рождению заряженных адронов в ультрарелятивистских $p+Pb$ взаимодействиях при энергии в нуклон-нуклонном центре масс $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$ ТэВ в эксперименте ATLAS на Большом Адронном Коллайдере (БАК) в ЦЕРНе. имеющей существенное значение для физики атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертация **Шульги Евгения Александровича** «Спектры заряженных частиц и факторы ядерной модификации в протон - ядерных ($p+^{208}Pb$) взаимодействиях при энергии 5,02 ТэВ на пару нуклонов в эксперименте ATLAS на БАК» отвечает всем критериям, установленным "Положением о порядке присуждения ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства РФ от 30.01.2002 г. № 74 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 20.06.2011 г. № 475), и предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц.

Отзыв составила:

кандидат физико-математических наук -

старший научный сотрудник

Лаборатории Релятивистской Ядерной Физики

Отдела Экспериментальной Физики

Института ядерных исследований РАН

тел. 8-495-850-42-56 e-mail: topilska@inr.ru

Наталья Серафимовна Топильская

Отзыв рассмотрен и утверждён на заседании Научно-технического совета Отдела экспериментальной физики ИЯИ РАН от 01.02.2018 г, протокол № 1

Подпись Топильской Наталии Серафимовны заверяю:

Ученый секретарь Института ядерных исследований РАН,

кандидат физико-математических наук  Андрей Дмитриевич. Селидовкин

Сведения о ведущей организации :

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт ядерных исследований Российской академии наук

Адрес: 117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 7а

e-mail: inr@inr.ru сайт: http://inr.ru



*Подпись Топильской Н.С. Верна
Подпись Селидовкина А.Д. Верна
Зав. отделом кадров Г. Горюнова В.А.*

Список некоторых публикаций сотрудников института в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации за последние 5 лет:

1. D.Adamova, ... A.B.Kurepin, ...T.L.Karavicheva... *et al.*, (ALICE Collaboration), " J/ψ production as a function of charged-particle pseudorapidity density in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV", Phys.Lett. B776 (2018) 91-104.
2. S. Acharya, ...A.B.Kurepin, ...T.L.Karavicheva... *et al.*, (ALICE Collaboration), "Charged-particle multiplicity distributions over a wide pseudorapidity range in proton- proton collisions at $s\sqrt{=0.9, 7, \text{ and } 8}$ TeV", Eur.Phys.J. C77 (2017) no.12, 85
3. S. Acharya, ...A.B.Kurepin, ...T.L.Karavicheva... *et al.*, (ALICE Collaboration), "Searches for transverse momentum dependent flow vector fluctuations in Pb-Pb and p-Pb collisions at the LHC", JHEP 1709 (2017) 032.
4. T.Allyazimov... A.B.Kurepin, ...T.L.Karavicheva,.. N.S.Topilskaya et al., (CBM Collaboration), " Challenges in QCD matter physics --The scientific programme of the Compressed Baryonic Matter experiment at FAIR", Eur.Phys.J. A53 (2017) no.3, 60.
5. J.Adam,,,, A.B.Kurepin, ...T.L.Karavicheva... *et al.*, (ALICE Collaboration), "Centrality dependence of charged jet production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV", Eur.Phys.J. C76 (2016) no.5, 271.
6. J.Adam,,,, A.B.Kurepin, ...T.L.Karavicheva... *et al.*, (ALICE Collaboration), " Centrality dependence of the charged-particle multiplicity density at midrapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV", Phys.Rev.Lett. 116 (2016) no.22, 222302.
7. A.B.Kurepin, N.S.Topilskaya "Fixed target project AFTER at the LHC beams for Heavy Ion and Hadron Physics", Physics of Particles and Nuclei, 2017, Vol. 48, No 5, pp. 776-778.
8. N.S.Topilskaya and A.B.Kurepin "Heavy ion collisions in a fixed target mode at the LHC beams". Eur. Phys. J A138 (2017) 03009.
9. А.Б. Курепин и Н.С. Топильская, «Проект экспериментов AFTER с фиксированной мишенью на пучках коллайдера БАК для физики адронов и столкновений тяжелых ионов», Физика Элементарных Частиц и Атомного Ядра (ЭЧАЯ), 2017, Т.48 №5, С.671-676.
10. A.B.Kurepin and N.S.Topilskaya, "Solving the problem of anomalous J/ψ suppression by the MPD experiment on the NICA collider" , Eur. Phys. JA , 52 8 (2016) 260 .
11. A.B.Kurepin and N.S.Topilskaya, "Quarkonium Production and Proposal of the New Experiments on Fixed Target at the LHC", Advances in High Energy Physics, vol. 2015, Article ID 760840, 13 pages, 2015. doi:10.1155/2015/760840.
12. E.V. Karpechev, I.A. Pshenichnov, T.L. Karavicheva, N.S.Topilskaya et al." Emission of forward neutrons by 158A GeV indium nuclei in collisions with Al, Cu, Sn and Pb", Nuclear Physics A 921 (2014) 60-84.
13. N.S.Topilskaya, "Charmonium production in proton-proton collisions and in collisions of lead nuclei at CERN and comparison with Brookhaven data". Phys. Atom. Nucl. 76 (2013) pp. 1196-1204.
14. B. Abelev... A.B.Kurepin, ...T.L.Karavicheva... et al. (ALICE Collaboration), "Transverse momentum distribution and nuclear modification factor of charged particles in p + Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV", Phys. Rev.Lett. (2013) Vol. 110, no. 8., 082302.