

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Лохтина Игоря Петровича на диссертационную работу 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», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 (физика атомного ядра и элементарных частиц)

Основной целью настоящей диссертационной работы является получение и анализ новых экспериментальных данных по рождению заряженных адронов в соударениях протон-свинец при энергии в системе центра масс 5,02 ТэВ на пару нуклонов. В работе проведено измерение импульсных спектров заряженных адронов в соударениях протон-свинец для различных интервалов центральности взаимодействий и получены соответствующие факторы ядерной модификации. Экспериментальное изучение механизмов множественного рождения частиц в релятивистских соударениях тяжелых ионов позволяет получить важную информацию о свойствах субъядерной материи в режимах экстремально высоких плотностей энергий и температур. Особую актуальность данная тематика приобрела в связи с успешной работой Большого адронного коллайдера (БАК) в Европейской организации ядерных исследований ЦЕРН. Одним из основных свидетельств образования сверхплотной и горячей субъядерной материи в соударениях тяжелых ионов — кварк-глюонной плазмы (КГП) - является эффект «гашения струй», обусловленный многократным рассеянием и потерями энергии высокоэнергичных кварков и глюонов в среде. Данный эффект проявляется, в частности, в подавлении выхода жестких адронов в ядро-ядерных взаимодействиях по сравнению с соответствующими протон-протонными соударениями, что наблюдалось в экспериментах на коллайдерах RHIC (в соударениях ионов золота) и БАК (в соударениях ионов свинца). Анализ соответствующих данных в соударениях протон-свинец дает возможность изучить эффекты начального состояния в «холодной» ядерной материи и сопоставить результаты, полученные для «больших» и «малых» сильновзаимодействующих систем. Таким образом, актуальность темы диссертации не вызывает сомнений. Результаты работы важны для понимания природы сильных взаимодействий и вносят значимый вклад в развитие релятивистской ядерной физики.

Степень **научной новизны** работы представляется весьма высокой. Автором были получены и проанализированы новые экспериментальные данные для широкого кинематического диапазона заряженных адронов. Результаты представленных измерений в дальнейшем могут быть использованы для тестирования и развития различных теоретических моделей ядерных взаимодействий. Впервые показано, что учет флуктуаций сечения нуклон–нуклонного взаимодействия имеет важное значение для интерпретации результатов измерения факторов ядерной модификации адронов. Отметим, что вопрос нормировки данных на количество взаимодействующих нуклонов является принципиально важным связующим звеном между теорией и экспериментом. Так как столкновения протонов с ионами свинца на БАК носят асимметричный характер из-за разницы энергий пучков, автором была проведена соответствующая адаптация стандартных методов отбора событий. Апробированные им критерии впоследствии были использованы и в других работах коллаборации ATLAS по анализу рождения адронов в соударениях протон-свинец.

Диссертация состоит из характеристики работы, введения, шести глав, заключения и списка литературы (последний содержит 147 наименований).

В характеристике работы приводится обоснование актуальности темы диссертации, формулируется цель работы и выносимые на защиту результаты, отмечается практическое значение и новизна полученных результатов.

Во введении дается общее описание рассматриваемой в работе тематики, обсуждается цель диссертационной работы и обосновывается ее актуальность.

В первой главе кратко рассмотрены теоретические основы квантовой хромодинамики, представлен общий подход для изучения холодной и горячей ядерной материи и дан обзор текущей экспериментальной ситуации в релятивистской ядерной физике.

Во второй главе приведено описание установки ATLAS.

Третья глава посвящена детальному описанию процедуры отбора событий и определения интервалов центральности взаимодействий протон-свинец, используемых в эксперименте ATLAS.

В четвертой и пятой главах представлены методы, используемые для анализа спектров заряженных частиц с поперечными импульсами меньше 22 ГэВ/с и больше 22 ГэВ/с соответственно, исследованы систематические погрешности измерений.

В шестой главе приведены основные результаты работы: спектры заряженных адронов и факторы ядерной модификации.

В заключении сформулированы основные полученные результаты и выводы.

Обоснованность и достоверность полученных результатов основывается на использовании и адаптации общепринятых методик анализа данных и современного программного обеспечения, применяемых в физике высоких энергий. При этом учтена специфика эксперимента ATLAS. Результаты измерений имеют хорошую статистическую обеспеченность и находятся в согласии с соответствующими данными экспериментов ALICE и CMS, полученными для более узкой кинематической области.


В качестве **замечаний** к диссертации можно отметить следующее.

1. Для измерения спектров заряженных частиц в соударениях протон-свинец при малых поперечных импульсах (до 22 ГэВ/с) автором использовались данные сеанса работы БАК 2012 года, в то время как для измерения адронов с большими поперечными импульсами (выше 22 ГэВ/с) использовались данные 2013 года. Не очень понятно, почему для частиц с малыми поперечными импульсами не были использованы данные 2013 года. Это позволило бы как значительно уменьшить статистическую погрешность измерений, так и избежать необходимости двойного расчета коэффициентов коррекции и систематических погрешностей спектров, проведенного в диссертации для двух разных датасетов.
2. На рисунке 6.14 приведено сравнение факторов ядерной модификации, измеренных в разных экспериментах, при этом данные CMS на сегодняшний день являются недостаточно актуальными. Более уместно было бы сравнение с обновленными результатами CMS (JHEP 04 (2017) 039), использующими протон-протонные данные 2015 года.
3. Было бы интересно сравнить результаты проведенных измерений с теоретическими предсказаниями как для спектров адронов, так и для факторов ядерной модификации. Такое сравнение позволило бы сопоставить различные подходы к описанию протон-ядерных взаимодействий и проинтерпретировать соответствующие данные.
4. В некоторых местах текста диссертации говорится о «расчете» факторов ядерной модификации (например: «цели работы», пункт 3, стр.8; последний абзац на стр.120). Поскольку речь идет об экспериментальных данных, все же правильнее говорить о «получении» или «измерении» факторов ядерной модификации (как это сформулировано в большей части текста, в частности, в выводах и положениях, выносимых на защиту).

Однако вышеуказанные замечания не влияют на главные результаты работы и не снижают общей высокой оценки диссертации. Диссертационная работа является законченным исследованием, которое выполнено на высоком научном уровне и содержит ряд новых и актуальных результатов. Полученные результаты достоверны, сформулированные научные положения и выводы хорошо обоснованы. Основные результаты диссертации опубликованы в научных изданиях, соответствующих списку ВАК РФ, и докладывались на российских и международных конференциях. Автореферат диссертации оформлен в соответствии с требованиями ВАК, адекватно отражает основное содержание диссертации и содержит необходимые формулировки цели и задач исследований, выносимых на защиту.

Считаю, что данная диссертационная работа полностью соответствует предъявляемым к кандидатским диссертациям требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор Шульга Евгений Александрович заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 «физика атомного ядра и элементарных частиц».

27 февраля 2018 года

Доктор физико-математических наук,
в.н.с. Отдела экспериментальной физики высоких энергий НИИЯФ МГУ,
адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, НИИЯФ МГУ
тел.: +7-495-939-12-57 (раб.), +7-916-190-80-32 (моб.)
адрес электронной почты: igor@lav01.sinp.msu.ru  Игорь Петрович Лохтин

Подпись И.П. Лохтина заверяю

Ученый секретарь НИИЯФ МГУ

кандидат физико-математических наук



Екатерина Александровна Сигаева