

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата физико-математических наук

Нигматкулова Григория Александровича на диссертацию

Дмитриевой Ульяны Александровны на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «Изучение ультрапериферических столкновений ядер на коллайдерах» по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертационная работа Дмитриевой Ульяны Александровны «Изучение ультрапериферических столкновений ядер на коллайдерах» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН). В диссертации описаны методы и представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований ультрапериферических взаимодействий ядер на коллайдерах LHC, NICA и FCC-hh. К ультрапериферическим взаимодействиям в диссертации отнесены процессы: (1) электромагнитной диссоциации ядер; (2) эмиссии ионами фотонов в результате ядерной резонансной флуоресценции.

Диссертация Дмитриевой У. А. состоит из введения, шести глав, заключения, отдельного списка публикаций автора диссертации, списка цитируемой литературы и приложения. Во **введении** обосновывается актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, названы общая цель и конкретные задачи работы, представлены методы исследования, положения, выносимые на защиту, описан личный вклад автора. **В первой** главе описывается модель RELDIS, используемая для теоретического описания электромагнитной диссоциации ядер, представлены её результаты для сечений образования определенного числа нейтронов, протонов и ядер-остатков в результате ультрапериферических $^{208}\text{Pb}+^{208}\text{Pb}$ столкновений на LHC и $^{197}\text{Au}+^{197}\text{Au}$ на NICA. **Во второй** главе на базе RELDIS выполнены расчеты для $^{115}\text{In}+^{115}\text{In}$ и $^{208}\text{Pb}+^{208}\text{Pb}$ столкновений на проектируемом адронном коллайдере FCC-hh, что позволило сравнить соотношение между сечениями ядерных и электромагнитных взаимодействий в столкновениях средних и тяжелых ядер. **В третьей** главе представлена теория ядерной резонансной флуоресценции в результате ультрапериферических столкновений ядер на коллайдерах; в аналитическом виде получены распределения фотонов по энергии, углам вылета и псевдобыстроте; обсуждается возможность регистрации таких фотонов на LHC. **В четвертой** главе описана разработанная Дмитриевой У. А. аналитическая комбинаторная модель для вычисления энерговыделения в передних адронных калориметрах, которая применена для качественной оценки формы спектров поглощённой в этих калориметрах энергии в результате электромагнитной диссоциации тяжелых ядер с эмиссией нуклонов. С помощью модели изучено влияние ограниченного аксептанса и эффективности регистрации нуклонов на форму спектра в

калориметрах и оценена возможность измерения выходов определённого числа нуклонов от электромагнитной диссоциации при энергиях NICA, LHC и проектируемого коллайдера FCC-hh. **В пятой главе** для энергии LHC выполнены расчеты множественности нуклонов по аналитической модели. Полученные распределения верифицированы с результатами полного Монте-Карло моделирования установки ALICE, в котором вычислены поправки на эффективность регистрации нуклонов от электромагнитной диссоциации передними адронными калориметрами ZDC для каждой множественности нуклонов. **В шестой главе**, с использованием вычисленных поправочных коэффициентов на эффективность регистрации нуклонов, представлены результаты измерений сечений эмиссии определённого числа нейтронов (от одного до пяти), с эмиссией и без эмиссии протонов в процессе электромагнитной диссоциации ядер свинца ^{208}Pb на LHC. **В заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы и обсуждаются перспективы их использования.

Изучение процессов, происходящих в ультрапериферических столкновениях, важно для понимания механизмов электромагнитного взаимодействия ядер при высоких энергиях и определяет **актуальность** диссертационной работы.

В работе было показано, что доминирующим каналом ЭМД является образование единственного тяжелого ядра-остатка вместе с эмиссией небольшого количества нейтронов и протонов, посредством регистрации которых можно определить заряд и массу остаточного ядра. При этом, сечения эмиссии определённого числа нейтронов и протонов и сечения образования соответствующих остаточных ядер для рассмотренных в работе ядер и энергий столкновений были вычислены впервые. Впервые были получены данные по эмиссии нейтронов и протонов при рекордной на данный момент энергии столкновений $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ ТэВ на LHC. Таким образом, полученные в диссертации результаты характеризуются **научной новизной**.

Разработанные методы оценки эффективности регистрации нуклонов в зависимости от их множественности в передних адронных калориметрах эксперимента ALICE могут быть использованы в будущих сеансах столкновений ядер на LHC, а также в других экспериментах, например, в экспериментах BM@N и MPD на ускорительном комплексе NICA, что говорит о **практической ценности** полученных в диссертации результатов.

Теоретическая значимость работы состоит в получении аналитических выражений, описывающих характеристики процесса ядерной резонансной флуоресценции, индуцированной фотонами Вайцеккера-Вильямса в ультрапериферических столкновениях ядер на коллайдерах LHC и FCC-hh.

Представленные на защиту в диссертации положения хорошо сформулированы и обоснованы.

Достоверность полученных результатов подтверждается успешным применением использованных методик измерений и обработки их результатов в предыдущих работах по ультрапериферическим столкновениям при меньших энергиях столкновений, а также обсуждением результатов диссертационной работы на многочисленных конференциях как международных, так и российских. Следует также отметить, что по теме диссертации опубликовано 6 работ в рецензируемых журналах, и 3 статьи в сборниках трудов конференций.

Несомненным достоинством диссертационной работы является рассмотрение столкновений ядер с различной массой в широком диапазоне энергии столкновений на трех коллайдерах: NICA, LHC, и FCC-hh. Следует отметить разнообразие использованных методов, как теоретических, так и экспериментальных, для оценки эффективности и аксептанса используемых в измерениях передних калориметров ALICE, и детальное сравнение результатов различных вариантов Монте-Карло моделирования с разработанной самим автором аналитической моделью. Содержание работы, её результаты показывают высокую научную квалификацию Дмитриевой У.А. Автор обладает широким кругозором в своей научной области, хорошо владеет инструментами исследовательской работы: умением писать формулы и программы, выполнять анализ экспериментальных данных и тщательную оценку их статистических и систематических ошибок.

К **недостаткам** работы, не считая небольшого числа грамматических ошибок и опечаток, можно отнести:

1. Название диссертации является слишком общим. В работе изучены процессы электромагнитной диссоциации ядер и ядерной резонансной флуоресценции, в то время как в ультрапериферических взаимодействиях ядер на коллайдерах наблюдаются также другие процессы, среди которых когерентное рождение частиц на ядрах, например, ρ^0 , J/ψ , рождение частиц в $\gamma\gamma$ столкновениях.
2. В работе отсутствуют оценки влияния процессов $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$, сопровождающих эмиссию нейтронов в ультрапериферических столкновениях, на выполненные измерения. Нельзя исключить, что некая малая часть лептонов может попадать в электромагнитный калориметр ZEM установки ALICE и имитировать таким образом адронные события, на которые накладывается вето на основе сигналов от ZEM для их отделения от электромагнитных событий.
3. Разработанная комбинаторная модель (P-метод) для вычисления энерговыведения в калориметрах нулевых углов основывается на предположении о равной вероятности регистрации отдельного нуклона для событий с большой и малой множественностью. При этом не приводится обоснования для такого предположения.

Приведённые замечания, в основном, имеют характер рекомендаций и не меняют общей высокой оценки диссертации, которая выполнена на актуальную тему и является глубоким, самостоятельным и законченным научным исследованием.

Содержание диссертации полно и правильно отражено в автореферате.

Представленная диссертация «**Изучение ультрапериферических столкновений ядер на коллайдерах**» отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор **Дмитриева Ульяна Александровна**, безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Официальный оппонент,
доцент Офиса образовательных программ
Отделения ядерной физики и технологий,
кандидат физико-математических наук
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»

_____ Г. А. Нигматкулов
«4» августа 2022 года

115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31
e-mail: ganigmatkulov@mephi.ru;
Тел: +7(916) 314 76 85

Подпись Нигматкулова Григория Александровича удостоверяю,
Зам. директора по персоналу НИЯУ МИФИ

_____ Л. В. Васильченко
«4» августа 2022 года

115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31
e-mail: lvvasilchenko@mephi.ru
Тел.: +7 (495) 788 56 99, доб. 9630;

Нигматкулов Григорий Александрович - кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц».

Список основных публикаций по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. Abdallah M.S., ..., Nigmatkulov G.A., et al. Probing the gluonic structure of the deuteron with J/ψ photoproduction in d+Au ultraperipheral collisions// *Physical Review Letters*, 2022. – № 128. – P. 122303.
2. Abdallah M.S., ..., Nigmatkulov G.A., et al. Measurement of cold nuclear matter effects for inclusive J/ψ in p+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV// *Physical Letters B*, 2022. – № 825. – P. 136865.
3. Abdallah M.S., ..., Nigmatkulov G.A., et al. Search for the chiral magnetic effect with isobar collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV by the STAR Collaboration at the BNL Relativistic Heavy Ion Collider// *Physical Review Letters*, 2022. – № 105. – P. 014901.
4. Adam J., ..., Nigmatkulov G.A., et al. Measurement of e^+e^- momentum and angular distributions from linearly polarized photon collisions// *Physical Review Letters*, 2021. – № 127. – P. 052302.
5. Adam J., ..., Nigmatkulov G.A., et al. Measurement of the central exclusive production of charged particle pairs in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV with the STAR detector at RHIC// *Journal of High Energy Physics*, 2020. – № 1. – P. 178.
6. Adam J., ..., Nigmatkulov G.A., et al. Observation of excess J/ψ yield at very low transverse momenta in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV and U+U Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=193$ GeV// *Physical Review Letters*, 2019. – № 123. – P. 132302.
7. Adam J., ..., Nigmatkulov G.A., et al. Low- p_T e^+e^- pair production in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV and U+U Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=193$ GeV at STAR// *Physical Review Letters*, 2018. – № 121. – P. 132301.
8. Adamczyk L., ..., Nigmatkulov G.A., et al. Charge-dependent directed flow in Cu+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV// *Physical Review Letters*, 2017. – № 118. – P. 012301.
9. Adamczyk L., ..., Nigmatkulov G.A., et al. Coherent diffractive photoproduction of ρ^0 mesons on gold nuclei at 200 GeV/nucleon-pair at the Relativistic Heavy Ion Collider// *Physical Review C*, 2017. – № 96. – P. 054904.