

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.163.01

НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от **25.01.2024 г. № 8/1**

О присуждении **Светличному Александр Олеговичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Свойства спектаторной материи в столкновениях релятивистских ядер» по специальности 1.3.15 — Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, принята к защите 12 октября 2023 года протокол № 7/7 диссертационным советом 24.1.163.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 823/нк от 20 апреля 2023 года.

Соискатель Светличный Александр Олегович, 1997 года рождения. В 2020 году соискатель освоил программу магистратуры с отличием Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки «03.04.01 - Прикладные математика и физика», (диплом 107724 4872531, выданный 30 июня 2020 г.). В 2020 году поступил в аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» по специальности 1.3.15 – физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, где и обучается в настоящий

момент. В настоящее время работает в должности стажёра-исследователя отдела экспериментальной физики ИЯИ РАН.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук, в отделе экспериментальной физики.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Пшеничнов Игорь Анатольевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, ведущий научный сотрудник отдела экспериментальной физики.

Официальные оппоненты:

Ларионов Алексей Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, ведущий научный сотрудник,

Снигирев Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына, отдел экспериментальной физики высоких энергий, лаборатория сильных взаимодействий, ведущий научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» – в своем положительном заключении, подписанном Куликовым Вячеславом Васильевичем, доктором физико-математических наук, заведующим лабораторией адронной физики Курчатовского комплекса теоретической и экспериментальной физики Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» и утвержденном первым заместителем директора по науке НИЦ «Курчатовский институт», доктором физико-математических наук, Дьяковой Юлией Алексеевной,

указала, что работа отвечает 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 Светличный Александр Олегович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий.

Соискатель имеет 13 работ по теме диссертации, 10 из которых опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны либо при решающем участии соискателя, либо им самостоятельно.

Список основных работ, по результатам диссертационного исследования:

1. Svetlichnyi A., Pshenichnov I. Formation of Free and Bound Spectator Nucleons in Hadronic Interactions Between Relativistic Nuclei // Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys. — 2020. – Vol. 84. – P. 911
2. Svetlichnyi A., Nepeivoda R., Pshenichnov I. Using Spectator Matter for Centrality Determination in Nucleus-Nucleus Collisions // Particles. – 2021. – Vol. 4. – P. 227–235.
3. Pshenichnov I., Kozyrev N., Nepeivoda R., Svetlichnyi A., Dmitrieva U. Properties of spectator matter in nuclear collisions at NICA // Phys. Part. Nucl. – 2021. – Vol. 52. – P. 591–597.
4. Nepeivoda R., Svetlichnyi A., Kozyrev N., Pshenichnov I. Pre-Equilibrium Clustering in Production of Spectator Fragments in Collisions of Relativistic Nuclei // Particles. – 2022. – Vol. 5. – P. 40–51.
5. Svetlichnyi A., Nepeivoda R., Pshenichnov I. Study of Nuclear Fragmentation at Heavy Ion Colliders // Phys. Part. Nucl. – 2022. – Vol. 53. – P. 612–620.
6. Kozyrev N., Svetlichnyi A., Nepeivoda R., Pshenichnov I. Peeling away neutron skin in ultracentral collisions of relativistic nuclei // Eur. Phys. J. A. – 2022. – Vol. 58. – P. 184.

7. Pshenichnov I., Kozyrev N., Svetlichnyi A., Dmitrieva U. What One Can Learn by Studying Spectator Remnants in Central Nucleus–Nucleus Collisions? // Phys. Part. Nucl. – 2022. – Vol. 53. – P. 335–341.
8. Svetlichnyi A., Savenkov S., Nepeivoda R., Kozyrev N., Pshenichnov I. Smoking gun of nuclear clusterization in collisions of light relativistic nuclei // Phys. At. Nucl. – 2022. – Vol. 85. – P. 320–326.
9. Kozyrev N., Svetlichnyi A., Nepeivoda R., Pshenichnov I. Spectator matter in the collisions of the relativistic deformed nuclei // Phys. Part. Nucl. – 2023. – Vol. 55. – P. 761–774.
10. Svetlichnyi A., Savenkov S., Nepeivoda R., Pshenichnov I. Clustering in Oxygen Nuclei and Spectator Fragments in ^{16}O – ^{16}O Collisions at the LHC // Physics. – 2023. – Vol. 5. – P. 381–390.
11. Kozyrev N., Svetlichnyi A., Nepeivoda R., Pshenichnov I. Spectator nucleons in ultracentral ^{208}Pb – ^{208}Pb collisions as a probe of nuclear periphery // PoS. – 2021. – Vol. LHCP2021. – P. 223.
12. Dmitrieva U., Kozyrev N., Svetlichnyi A., Pshenichnov I. Spectator nucleons in most central collisions of heavy nuclei at NICA // AIP Conf. Proc. – 2021. – Vol. 2377. – P. 030005.
13. Svetlichnyi A., Nepeivoda R., Kozyrev N., Pshenichnov I. Secondary nuclei from ^{16}O fragmentation at the LHC // PoS. – 2022. – Vol. EPS-HEP2021. – P. 310.

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что диссертация обладает внутренним единством, содержит важные физические и методические результаты, имеющие большое научное значение и практическую ценность. Диссертация полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013г.

Отмечены следующие критические замечания и пожелания:

- К стр. 23 диссертации. Вполне разумно, что, когда число сорванных нуклонов становится сравнимым с массой начального ядра, формула Эриксона

перестает работать, и надо использовать эмпирическую параметризацию ALADIN. В будущем было бы интересно исследовать, как такой переход возникает в рамках динамических моделей с самосогласованным средним полем типа модели БУУ, где имеется вполне определенное основное состояние ядра

- Выделение квазитермализованных систем и, затем, применение к ним статистических моделей, встречается в литературе довольно часто, однако никогда ранее статистический развал не применялся к настолько отклоненным от сферической формы ядерным системам, как спектаторный остаток в центральном АА столкновении. Такие системы, скорее, испытывают прямой динамический развал ещё до установления в них теплового равновесия. Поэтому, признавая смелость и изобретательность автора в решении очень сложного вопроса об определении параметров термализованных ядерных систем, в будущем хотелось бы все же лучше понять, насколько близки спектаторные остатки в центральных столкновениях к тепловому равновесию.

- Модель ААМСС фокусируется на описании образования спектаторной материи и не позволяет производить полноценное моделирование работы детектора. Однако модель Глаубера успешно применяется для вычисления начальных условий для моделирования образования частиц в зоне партисипантов, поэтому модель ААМСС может быть дополнена моделью образования частиц в зоне партисипантов.

- Не проведено сравнений с угловыми распределениями или другими распределениями по продольным и поперечным импульсам спектаторных фрагментов, с распределениями по (псевдо)быстроте. Такие сравнения позволили бы оценить адекватность модели для её будущего применения в оценках аксептанса и эффективности передних калориметров.

- В Главе 2 предлагается исследовать состав спектаторных фрагментов в зависимости от количества нуклон-нуклонных столкновений, однако известно, что модель Глаубера учитывает только первичные столкновения нуклонов, принадлежащих разным ядрам, и полностью игнорирует столкновения нуклонов отдачи в тех же ядрах, в которых эти нуклоны содержались до столкновения. Ввиду этого исключительно полезным было бы сравнение

результатов ААМСС не только с экспериментом, но и с транспортными моделями, в частности, с моделью UrQMD, для оценки влияния на результаты моделирования указанных упрощений, принятых в модели Глаубера.

- Недостаточно внимания уделено акцентированию преимуществ разработанной авторами программы ААМСС, ориентированной на описание свойств только спектаторной ядерной материи, по сравнению с программами широкого применения, например UrQMD и DCM-SMM.

В целом, диссертация написана четким и понятным языком, но не лишена небольшого количества опечаток, грамматических и стилистических ошибок. Соискатель Светличный А.О. ответил на заданные в ходе защиты вопросы и согласился с замечаниями.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией оппонентов и сотрудников ведущей организации и наличием работ высокого научного уровня по близкой тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Была разработана модель, получившая название Abrasion-Ablation Montec Carlo for Colliders (ААМСС), которая позволяет моделировать образование спектаторных фрагментов в столкновениях ультрарелятивистских ядер. Реализация модели представляет собой открытый исходный код и поэтому ААМСС может быть использована для изучения различных экспериментальных калориметров и эффективности регистрации спектаторных фрагментов, что поможет улучшить методы определения центральности.

- Посредством моделирования изучен состав спектаторной материи в столкновениях релятивистских ядер $^{197}\text{Au}-^{197}\text{Au}$ на коллайдере NICA как функции центральности столкновения. Диссертантом были определены следующие характеристики спектаторов как наиболее чувствительные к центральности столкновения: выходы спектаторных нуклонов, дейтронов и альфа частиц, количество заряженных фрагментов на спектаторный нуклон, асимметрия количества спектаторных нейтронов. Предложен метод усовершенствования определения центральности столкновения.

- С помощью модели ААМСС было изучено влияние поверхностного нейтронного слоя в ядрах ^{208}Pb на выходы спектаторных нуклонов в ультрацентральных $^{208}\text{Pb}-^{208}\text{Pb}$ столкновениях при энергиях SPS и LHC. Предложен новый метод определения параметров нейтронного слоя посредством измерений сечений образования заданного числа спектаторных нейтронов при фиксированном числе спектаторных протонов.

- Показано влияние внутренних альфа-кластерных состояний в ядре ^{16}O на выходы спектаторных фрагментов. Посредством сравнения с экспериментальными данными оценён вклад альфа-кластерного состояния в ядре ^{16}O . Для $^{16}\text{O}-^{16}\text{O}$ столкновений на LHC с учетом кластеризации вычислены распределения по множественности спектаторных нейтронов и дейтронов, фрагментов с определённым отношением заряда к массе и оценена доля столкновений вторичных спектаторных фрагментов с ядрами пучка на LHC, которая может давать примесь нежелательных событий к данным по $^{16}\text{O}-^{16}\text{O}$ столкновениям.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- При работе над диссертацией была разработана новая модель предравновесной кластеризации, на основе MST-кластеризации и феноменологической аппроксимации зависимости плотности ядерного фрагмента от энергии возбуждения. Эта модель была успешно применена для описания фрагментации ядерной материи в ультрацентральных столкновениях;

- С помощью разработанной модели ААМСС было исследовано влияние внутренней ядерной структуры на различные характеристики спектаторных фрагментов: поверхностного нейтронного слоя в ядре ^{208}Pb и деформации ядра ^{238}U на выходы спектаторных нейтронов и протонов в ультрацентральных столкновениях; внутриядерной кластеризации в ядрах ^{16}O на выходы различных спектаторных фрагментов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- Выделены характеристики спектаторов, которые наиболее чувствительны к центральности столкновения: выходы спектаторных нуклонов, дейтронов и альфа частиц, количество заряженных фрагментов на спектаторный нуклон,

асимметрия количества спектаторных нейтронов. Предложен усовершенствованный метод определения центральности столкновения.

- Предложен новый метод оценки параметров нейтронного слоя в ядре ^{208}Pb посредством измерения сечений образования заданного числа спектаторных нейтронов при фиксированном числе спектаторных протонов.

- Для $^{16}\text{O}-^{16}\text{O}$ столкновений на LHC с учетом кластеризации оценена доля столкновений вторичных спектаторных фрагментов с ядрами пучка на LHC, которая может давать примесь нежелательных событий к данным по $^{16}\text{O}-^{16}\text{O}$ столкновениям.

Таким образом, полученные в диссертации результаты имеют большую практическую ценность и могут быть использованы, в том числе, при подготовке физической программы экспериментов на коллайдере NICA и развитии программы исследований на коллайдере LHC.

Оценка достоверности результатов выявила, что работа модели AAMCC основана на широко известных и проверенных моделях: модель Glauber Monte Carlo является де-факто стандартом для моделирования ультррелятивистских столкновений, а статистические модели фрагментации из библиотеки Geant4 проверялись на широком наборе экспериментальных данных, остальные компоненты модели достаточно подробно описаны в диссертации. Результаты работы модели AAMCC согласуются с многочисленными экспериментальными данными по фрагментации спектаторов в широком диапазоне энергий ($\sqrt{s_{\text{NN}}}$ от нескольких ГэВ — ОИЯИ до нескольких ТэВ — LHC). Результаты диссертационной работы обсуждались на многочисленных международных и российских конференциях. Таким образом, результаты диссертации обоснованы и достоверны.

Личный вклад соискателя состоит в получении основных результатов диссертации, выносимых на защиту. Непосредственно автором было выполнено разработка программного кода модели AAMCC с использованием библиотеки Geant4 и модели GlauberMC, в том числе разработка модели предравновесной фрагментации на основе MST-кластеризации. Автором был выполнен анализ чувствительности характеристик спектаторной материи к центральности в столкновениях релятивистских ядер ^{197}Au при энергиях

коллайдера NICA; моделирование ультрацентральных столкновений ядер ^{208}Pb при энергиях ускорителей SPS и LHC и ^{238}U при энергиях коллайдера RHIC; разработка методов оценки параметров нейтронного слоя ^{208}Pb посредством регистрации спектаторных нейтронов и протонов; создание кода для генерации положений нуклонов в ядре ^{16}O с учётом внутриядерной кластеризации и моделирование столкновений ядер ^{16}O и анализ влияния внутриядерной кластеризации на состав спектаторной материи за разработку модели, позволяющей описывать образование спектаторных фрагментов в столкновениях ультрарелятивистских ядер.

На заседании 25 января 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Светличному Александру Олеговичу ученую степень кандидата физико-математических наук за разработку модели, позволяющей описать образование спектаторной материи в столкновениях ультрарелятивистских ядер и исследования свойств спектаторной материи в этих столкновениях.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве **19** человек, из них **5** докторов наук по специальности 1.3.15 — Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, участвовавших в заседании, из **27** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - **18**, против - **0**, недействительных бюллетеней - **1**.

Председатель

диссертационного совета 24.1.163.01

доктор техн. наук, чл.-корр. РАН

_____ Кравчук Л.В.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.163.01

кандидат физ.-мат. наук

_____ Демидов С.В.

25.01.2024 г.

М.П.