

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 **13.11.2025** г. № **37/15**

О присуждении **Мамаеву Михаилу Валерьевичу**, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование направленного потока протонов в ядро-ядерных столкновениях при энергиях $E_{kin}=1.2 - 4\text{ А ГэВ}$ » по специальности 1.3.15. — «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» принята к защите 05.06.2025 г., протокол № 27/5 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 Мамаев Михаил Валерьевич 1997 года рождения. В 2021 году соискатель с отличием окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» по направлению подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика» (диплом-107731 0405331 выдан 08 июля 2021 года). В 2021 году поступил в аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» по направлению подготовки 03.06.01 - Физика и астрономия, и закончил обучение в 2025 году (диплом — 107704 0423713 выдан 10 июля 2025 года). Справка № 11 о сдаче кандидатских экзаменов по научной специальности 1.3.15. — «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» выдана 21 мая 2024 года Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». В настоящее время работает в должности стажёра-исследователя в отделе экспериментальной физики,

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

Диссертация выполнена в отделе экспериментальной физики, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

Научный руководитель – Тараненко Аркадий Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», кафедра “Экспериментальные методы ядерной физики” (№11), ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Лохтин Игорь Петрович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, 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, ведущий научный сотрудник.

Харлов Юрий Витальевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», отделение экспериментальной физики, ведущий научный сотрудник дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (г. Гатчина).

В своем положительном заключении, подписанном доктором физико-математических наук, профессором РАН, ведущим научным сотрудником лаборатории релятивистской ядерной физики отделения физики высоких энергий федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова

Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» Рябовым Виктором Германовичем и утверждённым заместителем директора по научной работе федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» доктором физико-математических наук Владимиром Владимировичем Ворониным 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 Мамаев Михаил Валерьевич 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 9 работ по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК. Все 9 публикаций проиндексированы в базе данных Scopus.

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

Список основных работ по результатам диссертационного исследования:

1. Mamaev M., Golosov O., Selyuzhenkov I. Directed flow of protons with the event plane and scalar product methods in the HADES experiment at SIS18 // J. Phys. Conf. Ser. — 2020. — Т. 1690, № 1. — С. 012122.
2. Mamaev M., Golosov O., Selyuzhenkov I. Estimating Non-Flow Effects in Measurements of Anisotropic Flow of Protons with the HADES Experiment at GSI // Phys. Part. Nucl. — 2022. — Т. 53, № 2. — С. 277—281.
3. Mamaev M. Performance Towards Spectator Symmetry Plane Estimation Using Forward Hadron Calorimeter in the BM@N Experiment // Phys. Part. Nucl. Lett. — 2023. — Т. 20, № 5. — С. 1205—1208.

4. Mamaev M., Taranenko A. Toward the System Size Dependence of Anisotropic Flow in Heavy-Ion Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2\text{--}5$ GeV // *Particles*. — 2023. — Т. 6, № 2. — С. 622—637.
5. Adamczewski-Musch J., Mamaev M., HADES Collaboration. Directed, Elliptic, and Higher Order Flow Harmonics of Protons, Deuterons, and Tritons in Au+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.4$ GeV // *Phys. Rev. Lett.* — 2020. — Т. 125. — С. 262301.
6. Mamaev M. Baryonic Matter @ Nuclotron: Upgrade and Physics Program Overview // *Physics of Atomic Nuclei*. — 2024. — Т. 87, № 1. — С. 311—318.
7. Mamaev M. On the Azimuthal Flow of Protons in the Heavy Ion Collisions $\sqrt{s_{NN}} = 2\text{--}4$ GeV // *Physics of Particles and Nuclei Letters*. — 2024. — Т. 21, № 4. — С. 661—663.
8. Mamaev M. On the Scaling Properties of the Directed Flow of Protons in Au + Au and Ag + Ag Collisions at the Beam Energies of 1.23 and 1.58 A GeV // *Physics of Particles and Nuclei*. — 2024. — Т. 55, № 4. — С. 832—835.
9. Mamaev M. Directed flow of protons in Xe+CsI collisions at the energy of 3.8 A GeV at BM@N (NICA) // *Int. J. Mod. Phys. E*. — 2024. — Т. 33, № 11. — С. 2441009.

Аннотация полно и правильно отражает содержание диссертации.

На диссертацию и аннотацию 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, утвержденным Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

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

В отзывах оппонентов и ведущей организации были высказаны следующие критические замечания и пожелания:

1. Надписи на графиках, подписи к осям не переведены на русский язык.

2. Пропущены символы комплексного сопряжения в формулах 3.6-3.11, хотя ранее в главе 1 обобщенные выражения приводятся с комплексным сопряжением (формулы 1.10-1.15).
3. В своем исследовании автор применяет разработанные методики измерения коллективной анизотропии для исследования возможности проведения подобных измерений на установке BM@N. На данных Монте-Карло моделирования установки показано, что возможно, как измерение направленного (v_1), так и эллиптического (v_2) потоков. Однако из экспериментальных данных столкновений $\text{Xe}+\text{Cs}(I)$ при 3.8 АГэВ извлечена лишь зависимость v_1 от быстроты. В связи с этим непонятно, планируется ли измерение эллиптического потока в экспериментальных данных на установке BM@N.
4. В разделе Введения «Методология и методика исследования» о методологии, т. е. о стратегии и принципах исследования ничего не сказано. Перечислено лишь программное обеспечение, используемое для работы, что явно не исчерпывает все применяемые методы. Методология же измерения потоков достаточно подробно описана в Главе 1 диссертации.
5. В разделе 1.2 приведена компиляция эллиптических потоков протонов, измеренных в экспериментах FOPI, E895, STAR. Но поскольку представлены данные как коллайдерного эксперимента, так и экспериментов на фиксированной мишени, нужно приводить данные в одном диапазоне быстрот в системе центра масс, что не указано в тексте. Не ясно, получена ли данная компиляция диссертантом самостоятельно, или она взята из опубликованных источников. В любом случае в обсуждении подобных компиляций необходима ссылка на экспериментальные публикации. В подписи к рис.1.6 дается ссылка на рисунок из работы [47], который назван фигурой, т. е. перевод выполнен некорректно.
6. В Главе 1 диссертации не уделено внимания особенности измерения нечетных потоков, в частности, v_1 . Поскольку в столкновениях тяжелых ионов есть неоднозначность выбора нормали к плоскости реакции, то нечетные потоки должны были бы усредняться по азимутальному углу в диапазоне $[0, 2\pi]$ и становиться равными нулю. Ненулевое значение направленного потока свидетельствует о выделенном направлении в столкновении ионов.

7. В Главе 2 подробно описаны детекторы экспериментов HADES и BM@N, но для удобства читателей и понимания ими возможностей обеих экспериментальных установок помогли бы основные характеристики экспериментов и детекторов. В частности, скорость взаимодействия пучка с мишенью и мертвое время системы сбора данных, не указанные в работе, необходимы для сравнения интегральной светимости экспериментов. При описании детекторов необходимо указать импульсное разрешение магнитного спектрометра, временное разрешение детектора времени пролета, энергетическое разрешение калориметров.

8. В Главе 4 представлены результаты измерения направленного потока v_1 . На рис.4.1 приведены две зависимости v_1 : от быстроты y и от поперечного импульса p_T . На рисунке с зависимостью $v_1(y)$ приведен диапазон p_T от 0.6 до 0.8 ГэВ/с, но при каких y показана зависимость $v_1(p_T)$?

9. Во Введении написано про «открытие кварк-глюонной материи (КГМ) в столкновениях ионов золота при энергии $\sqrt{s_{NN}}=200$ ГэВ на коллайдере RHIC в 2005 году», но все же ранее (в 2000 году) была обнародована компиляция указаний на формирование КГМ в экспериментах на ускорителе SPS (про это упоминается в разделе 1.1, но можно было бы отметить и во Введении).

10. В обзоре Данилевича и др. 2002 года (ссылка [10] диссертации) было выявлено противоречие: данные по направленному потоку v_1 протонов, полученные в экспериментах на ускорителе AGS, лучше описывались моделью с «мягким» уравнением состояния ядерной материи, в то время как эллиптический поток v_2 — моделью с «жестким» уравнением состояния. Новые данные эксперимента BM@N по наклону v_1 согласуются с недавними измерениями в эксперименте STAR на RHIC, но не со старыми данными AGS. В этой связи в тексте диссертационной работы можно было бы прокомментировать, снимают ли данные результаты отмеченное выше противоречие, указывая при этом на предпочтительность «жесткого» уравнения состояния в исследуемом диапазоне энергий ионных пучков.

11. В диссертации весьма детально описаны детекторные системы и методика анализа данных (что, безусловно, является достоинством работы), возможно, стоило бы также немного подробнее описать и специфику используемых

теоретических моделей (JAM, DCM-QGSM-SMM). Например, при сравнении данных по направленному потоку протонов с предсказаниями модели JAM автор отмечает, что модель адекватно описывает зависимость v_1 от быстроты, но систематически расходится с экспериментом для зависимости v_1 от поперечного импульса. Можно было бы обсудить, какие особенности физического формализма или параметризации модели JAM могут приводить к такому расхождению.

12. Для экспериментальных данных BM@N (соударения $\text{Xe}+\text{Cs(I)}$ при энергии 3.8 ГэВ на нуклон) в работе приведена зависимость v_1 протонов от быстроты. Было бы интересно получить также зависимость v_1 протонов от поперечного импульса и сравнить данные с предсказаниями модели JAM.

В целом, диссертация написана хорошим языком и характеризуется понятным стилем изложения, но не лишена небольшого количества опечаток, грамматических и стилистических ошибок. Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку работы. Соискатель Мамаев М.В. ответил на заданные в ходе защиты вопросы и высказанные замечания.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. На установке HADES измерены зависимости коэффициента направленного потока v_1 протонов от центральности столкновения, поперечного импульса (p_T) и быстроты (y_{cm}) для столкновений $\text{Au}+\text{Au}$ и $\text{Ag}+\text{Ag}$ при энергиях $E_{kin} = 1,23-1,58\text{A}$ ГэВ

2. Разработан метод учета вклада непотоковых корреляций и изучения их влияния на измеренные значения коэффициентов потоков v_n для экспериментов с фиксированной мишенью в условиях сильной неоднородности азимутального акцептанса установки.

3. Получены результаты сравнения измеренных значений направленного потока (v_1) с расчетами в рамках современных моделей ядро-ядерных столкновений, проверен эффект масштабирования v_1 с энергией столкновения и геометрией области перекрытия.

4. Получены оценки эффективности измерения коллективных потоков на экспериментальной установке BM@N.

Теоретическая и практическая значимость исследования обоснована тем, что:

получены новые прецизионные результаты измерения направленного потока v_1 протонов современными методами анализа, позволяющими оценить вклад непотоковых корреляций, являются принципиально важными для проверки и дальнейшего развития теоретических моделей ядро-ядерных столкновений, получения новых ограничений на значения EOS симметричной сильновзаимодействующей материи в области максимальной барионной плотности.

Методика измерения коллективных анизотропных потоков, опробованная впервые в эксперименте HADES (ГСИ), была адаптирована к условиям установки BM@N (NICA) и усовершенствована с целью уменьшения систематической ошибки измерения. Методика была апробирована на основе моделирования детектора BM@N и анализа первых физических данных эксперимента по изучению Xe+Cs(I) столкновений при энергии $E_{\text{kin}}=3,8\text{A}$ ГэВ. Данные результаты важны и для будущего эксперимента MPD (NICA), который также может проводиться на фиксированной мишени.

Представленные в диссертации научные результаты являются новыми, обоснованными и достоверными. Достоверность полученных результатов подтверждается различными проверками и тестами, проведенными в диссертационной работе, сравнением полученных результатов с другими экспериментами, а также публикацией результатов данного исследования в рецензируемых научных журналах и обсуждениями на научных конференциях и научных семинарах.

Основные результаты работы были получены автором в рамках его участия в международных коллаборациях: HADES (GSI) в 2019–2022 гг. и BM@N (ОИЯИ) в 2022–2024 гг. Автор являлся членом коллаборации HADES в 2019–2022 гг. и с 2022 года состоит в коллаборации BM@N. Мамаев М.В. участвовал в эксперименте по столкновениям Ag+Ag при энергиях 1.23 и 1.58A ГэВ на установке HADES и Xe+Cs(I) при энергии 3.8A ГэВ на установке BM@N. Результаты анализа направленного потока протонов на установке HADES были получены при определяющем вкладе автора диссертации. Результаты докладывались от имени коллаборации на международных конференциях и были

опубликованы в соавторстве Мамаева М.В. в коллаборационной статье. Результаты исследования направленного потока протонов в данных моделирования методом Монте-Карло и в экспериментальных данных установки BM@N также были представлены на международных конференциях от имени коллаборации и опубликованы в статьях в рецензируемых научных журналах. В 5 из 9 публикаций Мамаев М.В. является единственным автором.

На заседании 13 ноября 2025 года диссертационный совет принял решение присудить **Мамаеву Михаилу Валерьевичу** ученую степень кандидата физико-математических наук за исследование направленного потока протонов в ядроядерных столкновениях при энергиях $E_{kin} = 1.2 - 4A$ ГэВ.

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 - **19**, против - **0**, недействительных бюллетеней - **0**.

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.

13.11. 2025 г.

м.п.