

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. № **10/3**

О присуждении **Волкову Вадиму Вячеславовичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Определение геометрии столкновений тяжелых ионов передними адронными калориметрами в эксперименте MPD/NICA» по специальности 1.3.2 — Приборы и методы экспериментальной физики, принята к защите 12.10.2023г., 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 Волков Вадим Вячеславович, 1995 года рождения. В 2023 году соискатель освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 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 1.3.2 — Приборы и методы экспериментальной физики (диплом 107724 0841047, выданный 16 июля 2023 г.). В настоящее время работает в должности инженера 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 - Ивашкин Александр Павлович - кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение

науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, отдел экспериментальной физики, старший научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

**Салахутдинов Гаяр Харисович**, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Отделение ядерной физики и технологий офиса образовательных программ, профессор.

**Семенов Павел Александрович**, кандидат 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 науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), (г. Москва) — в своем положительном заключении, подписанном Басковым Владимиром Алексеевичем, кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником отдела ядерных исследований Троицкого обособленного подразделения ФИАН и утвержденном заместителем директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук, доктором физико-математических наук, профессором Рябовым Владимиром Алексеевичем,

указала, что работа отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 — Приборы и методы экспериментальной физики.

Соискатель имеет 6 работ по теме диссертации, опубликованных в 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 публикаций по результатам диссертации:

1. Approaches in centrality measurements of heavy-ion collisions with forward calorimeters at MPD/NICA facility [Текст] / V. Volkov [и др.] // J. Phys. Conf. Ser. / под ред. P. Teterin. — 2020. — Т. 1690, № 1. — С. 012103.

2. Measurements of Spectators with Forward Hadron Calorimeter in MPD/NICA Experiment [Текст] / A. Ivashkin, ..., V. Volkov [и др.] // Phys. Part. Nucl. — 2021. - Т. 52, № 4. — С. 578-583.

3. Amplitude parameters of modules for hadron calorimeter at MPD/NICA [Текст] / A. Ivashkin, ..., V. Volkov [и др.] // JINST. — 2020. — Т. 15, № 06. — С. C06044.

4. Application of FHCAL for Heavy-Ion Collision Centrality Determination in MPD/NICA Experiment [Текст] / V. Volkov [и др.] // Particles. — 2021. — Т. 4, № 2. - С. 236-240.

5. Status and initial physics performance studies of the MPD experiment at NICA [Текст] / V. Abgaryan, ..., V. Volkov [и др.] // Eur. Phys. J. A. — 2022. — Т. 58, № 7. — С. 140. —

6. Forward Detectors of the BM@N Facility and Response Study at a Carbon Ion Beam in the SRC Experiment [Текст] / V. V. Volkov [и др.] // Instrum. Exp. Tech. — 2023. — Т. 66, № 2. — С. 218-227.

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что диссертация представляет собой качественное и завершённое исследование, имеет большой практический значение, характеризует автора как состоявшегося научного исследователя. Диссертация полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых

степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

В ходе защиты отмечены следующие критические замечания и пожелания:

- В главе 4, в разделе 1 проведено сравнение моделированных данных с экспериментальными данными эксперимента NA61. На рис. 4.2 можно заметить, что различия между двумя модельными и реальными данными могут крайне сильно отличаться в зависимости от энергетического диапазона, в частности, в области 0—40 ГэВ и в области 40—60 ГэВ различные модели будут ближе к эксперименту. В связи с этим не вполне корректно проводить сравнение в полном энергетическом спектре или в указанных автором диапазонах. Кроме того, не вполне ясно, что именно иллюстрирует рис. 4.4.

- В разделе 3.5.2 описана процедура энергетической калибровки модулей калориметра. Среди прочего, там описана процедура отбора полезных сигналов, которая опирается на получение информации о количестве смен знака в заданном диапазоне и указано, что отбор происходит в том случае, если знак менялся не более 2 раз. Чем именно обосновано именно такое число? Может ли быть такое, что при смене условий набора данных этот метод будет показывать более плохой результат?

- Заявленный энергетический диапазон работы будущего эксперимента 4—11 ГэВ для различных тяжелых ионов. Тем не менее, методы определения центральности и плоскости реакции почти исключительно сосредоточены на реакции AuAu при энергии 11 ГэВ. Чем обусловлен такой выбор и не может ли случиться так, что при более низких энергиях методы будут не работать или давать худшую точность?

- Различные методы определения центральности в главе 4 сосредоточены на использовании поверхностного распределения энергии в калориметре и нигде не указано, по какой причине не использовалась информация о продольном распространении энергии, хотя каждый модуль имеет 7 секций. Не является ли это упущением и может ли использование продольной сегментации значительно улучшить результаты?

- Автор уделяет в первой главе значительное внимание различным

экспериментам и подробно описывает эксперимент MPD во второй главе. Можно было бы несколько сократить некоторые описания, поскольку, используемые рядом экспериментов методы сильно пересекаются между собой. Также описание детекторных систем эксперимента MPD, возможно, избыточно. Поскольку будущий эксперимент в Дубне в значительной степени продолжает работу, которая была сделана в рамках эксперимента STAR (BES I, BES II, STAR FXT) и имеет схожий с ним энергетический диапазон следовало уделить больше внимания рассмотрению различий между ними и указать, какие новые результаты, не полученные прежде в STAR, можно ожидать.

- В главе 3 дается подробное описание устройства калориметров FHCa1 и методам анализа сигналов с электроники. В связи с расположением электроники на задней поверхности модулей возникает ряд вопросов. По какой причине было принято решение оставить электронику на задней поверхности модулей? Не будет ли их работа в таком месте приводить к ряду проблем, связанных с радиацией: сбои микроконтроллеров, изменение характеристик фотодиодов при облучении.

- В свете указанного в предыдущем пункте также автору следовало уделить время рассмотрению дополнительных вопросов о режиме работы фотодиодов. В частности, после выполнения энергетической калибровки, в течение какого времени ожидается стабильная работа с полученными калибровочными величинами и как часто необходимо проводить повторную калибровку? Будет ли достаточно одной калибровки в течение выполнения программы одного сеанса?

- Автор в главе 4 не рассматривает проблему наложений сигналов, которые могут возникнуть в процессе работы, например, по причине плохой структуры пучка, его недостаточной распределенности. В случае, если эта проблема возникнет, то разработанные методы анализа сигнала потребуют модификации для работы во время сеанса, хотя и будут по-прежнему актуальны для проведения калибровки на космических мюонах. Кроме того, с течением времени в эксперименте будут проводиться обновления, которые могут привести к появлению дополнительных источников наложений сигналов из-за повышения частоты взаимодействия. В свете указанного следовало уделить внимание

вопросам наложения сигналов.

- В главе 4, посвященной методам определения центральности хотелось бы также получить информацию о том, насколько сильно меняется разрешение при использовании только одного калориметра. Помимо этого, следовало описать, как именно происходит обработка данных с двух калориметров, учитывается ли каким-либо образом тот факт, что энерговыделение в двух калориметрах в одном событии отличается и можно ли как-то использовать эту дополнительную информацию для улучшения разрешения, если она не была использована.

- Не ясно, по какой причине для аппроксимации формы сигнала в заданном окне используется распределение Гаусса (рис. 3.14)? Более логичным выбором было бы использование распределения Ландау. В целом, в работе следовало уделить больше внимания выбору тех или иных функций для аппроксимации распределений. Хотелось бы видеть хотя бы по предложению с обоснованиями.

- В работе используется разделение на классы центральности по исключительно равным интервалам (все классы 1%, 10% от общего числа событий и т.д.). В то же время в первой главе, на примере эксперимента ALICE можно видеть, что возможно использование и различного размера классов, например, самые центральные события берутся в диапазоне 0–5%, затем идет класс 5–10%, затем уже 10–20%. Следовало дать обоснование выбору равных интервалов. Кроме того, очевидно, что использование классов центральности одной величины в рамках реального эксперимента может не иметь смысла из-за погрешности их определения.

- В главе 4 автор предполагает, что использование дополнительной независимой наблюдаемой (множественности треков) в корреляции позволит избежать проблем, которые были описаны ранее (4.2.3) и связаны с переходом к числу партисипантов в модели Глаубера. Хотя само предположение звучит логично, но хорошо было бы иметь хотя бы предварительные оценки разрешения классов центральности, полученного с использованием числа партисипантов после перехода к модели Глаубера.

- Иллюстрация 4.19 была бы более наглядной, особенно с точки зрения разделения корреляции на классы, если бы автор представил ее в

нормированных на единицу осей, как он делал это при описании других методов определения центральности.

Соискатель Волков В.В. 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:

1. Разработаны методы считывания и анализа сигналов с передних адронных калориметров эксперимента MPD/NICA. Разработанные методы включают в себя анализ формы сигналов и определение их амплитудных характеристик. Реализован критерий сепарации полезных сигналов от когерентных шумов, обеспечивающий качественную фильтрацию электронных шумов и помех.

2. Разработаны методы энергетической калибровки модулей передних адронных калориметров с помощью космических мюонов с различной геометрией треков. Использование подхода с космическими мюонами для передних адронных калориметров в эксперименте MPD/NICA необходимо из-за фиксации калориметра в рабочем положении и отсутствия мюонных пучков на ускорительном комплексе.

3. Разработаны методы определения центральности передними адронными калориметрами в эксперименте MPD/NICA. Методы используют пространственно-энергетические распределения в передних адронных калориметрах. В рамках методов конструируются уникальные экспериментальные наблюдаемые, которые используются для оценки центральности события. Эти наблюдаемые применяются для получения двумерных и трехмерных корреляций, которые используются для определения классов центральности. Для выделения классов центральности из полученных корреляций разработаны специальные подходы.

4. Разработаны методы измерения ориентации плоскости реакции (плоскости событий) по распределению энергии спектров в модулях передних адронных калориметров эксперимента MPD/NICA. Одновременная регистрация протонов и нейтронов спектров, регистрация спектров обоих сталкивающихся ядер и высокая поперечная сегментация калориметров обеспечивают получение уникально высокой точности восстановления угла плоскости событий около  $20^\circ$ .

5. Созданы программные пакеты на языке C++, реализующие методы определения геометрии столкновений тяжелых ионов в эксперименте MPD/NICA.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что в ее рамках были разработаны инструменты для обработки сигналов с передних адронных калориметров и методы энергетической калибровки этих калориметров. Были разработаны оригинальные методы определения центральности и ориентации плоскости реакции с использованием передних адронных калориметров. Была осуществлена реализация этих методов в виде программных пакетов на языке C++, которые на данный момент применяются в коллаборации MPD/NICA. Данная работа существенно способствует использованию адронного калориметра для выполнения физических задач в будущем эксперименте MPD.

Оценка достоверности результатов выявила, что достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью применения апробированного в научной практике исследовательского и аналитического аппарата; экспериментальной проверкой предложенных методов на ряде задач и реальных наборах данных с экспериментов; описаниями методов и результатов, допускающими их воспроизводимость; публикациями в журналах и трудах конференций по тематике исследования.

Личный вклад соискателя состоит в получении основных результатов диссертации, выносимых на защиту. Им были разработаны методы считывания и анализа сигналов с электроники передних адронных калориметров, он принимал непосредственное участие в сборке и подготовке прототипа будущего детектора и самостоятельно проводил на нем набор данных с последующим анализом.



Соискатель внес решающий вклад в разработку метода энергетической калибровки адронных калориметров при помощи космических мюонов. Им разработаны методы определения центральности и измерения ориентации плоскости реакции столкновений тяжелых ионов с использованием энерговыведения в передних адронных калориметрах, а также метод определения центральности столкновений по выделенной в калориметре энергии в сочетании с множественностью треков во время-проекционной камере. Им была проведена верификация фрагментационных Монте-Карло моделей на экспериментальных данных. Он лично разработал оригинальные программные пакеты, реализующие указанные методы. Соискатель принимал непосредственное участие в написании текстов всех публикаций.

На заседании 25 января 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Волкову Вадиму Вячеславовичу ученую степень кандидата физико-математических наук за разработку методов считывания и анализа сигналов с передних адронных калориметров, разработку методов энергетической калибровки модулей калориметров, создание методов определения центральности и измерения ориентации плоскости реакции при помощи передних адронных калориметров эксперимента MPD/NICA.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 8 докторов наук по специальности 1.3.2 — Приборы и методы экспериментальной физики, 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.

25.01.2024 г.

М.П.