

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 **21.09.2023** г. № **4/4**

О присуждении **Карпушкину Николаю Михайловичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Методы анализа данных передних адронных калориметров ядро-ядерных экспериментов с фиксированной мишенью» по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики» принята к защите 22 июня 2023 г., протокол № 2/2 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 Карпушкин Николай Михайлович 1996 года рождения. В 2019 году соискатель окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)». В 2019 г. соискатель Н.М. Карпушкин поступил в очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), и обучается по настоящее время, по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики. В настоящее время работает в должности инженера отдела экспериментальной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук.

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

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Губер Федор Фридрихович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, отдел экспериментальной физики, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Мочалов Василий Вадимович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Отделение экспериментальной физики, лаборатория поляризационных экспериментов, ведущий научный сотрудник,

Яшин Иван Васильевич, кандидат 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, Лаборатория космической рентгеновской и гамма-астрономии, ведущий научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение "Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", г. Москва – в своем положительном заключении, подписанном Блау Дмитрием Сергеевичем, кандидатом физико-математических наук, руководителем отделения ядерной физики и пучковых технологий НИЦ «Курчатовский институт» и утвержденном Дьяковой Юлией Алексеевной, доктором физико-математических наук, Первым заместителем директора Центра по науке НИЦ «Курчатовский институт»,

указала, что диссертация Карпушкина Николая Михайловича «Методы анализа данных передних адронных калориметров ядро-ядерных экспериментов с фиксированной мишенью» удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением

Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 — Приборы и методы экспериментальной физики.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 3 работы, опубликованные 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 работ, по результатам диссертационного исследования:

1. ML Approaches for Centrality Determination with Forward Hadron Calorimeters in Heavy Ion Reactions / N. Karpushkin [et al.] // Phys. Part. Nucl. — 2022. — Vol. 53, no. 2. — P. 524—530. — DOI: 10.1134/S1063779622020381.
2. Study of the Spectator Matter in Heavy Ion Collisions at the BM@N Experiment / F. Guber, ..., N. Karpushkin, [et al.] // Phys. Part. Nucl. — 2022. — Vol. 53, no. 2. — P. 626—630. — DOI: 10.1134/S1063779622020332.
3. Measurements of Centrality in Nucleus–Nucleus Collisions at the BM@N Experiment / F. Guber, ..., N. Karpushkin, [et al.] // Phys. Part. Nucl. — 2021. — Vol. 52, no. 4. — P. 571—577. — DOI: 10.1134/S1063779621040262.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации, а сама диссертационная работа представляет собой законченное исследование, выполненное на хорошем научном уровне, и 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:

1. В диссертации разработан метод обработки сигналов, получаемых с

детектора, однако не проведено количественное сравнение результатов, получаемых данным методом, с существующими методами параметризации сигналов, применяемыми в работающих калориметрических системах, такие как аппроксимация гамма-функцией или «Новосибирской функцией». Критерии сравнения методов: точность восстановления амплитуды и времени, производительность, устойчивость к шумам и способность разделять одиночные и наложенные события.

2. Разработано программное обеспечение для адронных калориметров экспериментов CBM и BM@N, однако в диссертации указано об апробации его только в сеансах эксперимента mCBM. При этом зимой 2022-2023 гг. были также проведены сеансы эксперимента BM@N.

3. В главе 3.2 «Разработка программного обеспечения для адронного калориметра эксперимента CBM@FAIR» на рис. 3.2 продемонстрировано сравнение спектров из реальных данных и Монте-Карло моделирования. При этом наблюдается существенное отличие в линейности реального модуля калориметра и результата Монте-Карло моделирования (вплоть до 30% при 100 МэВ). Как такое отличие будет влиять на физические результаты? В чем причина такого расхождения?

4. Разработаны методы определения центральности для экспериментов BM@N и CBM, однако в диссертации представлены результаты моделирования только для эксперимента CBM при моделировании Au-Au столкновений с импульсом пучка 12A ГэВ/с. Таким образом, возникает вопрос, будет ли применим данный метод в случае изменения энергии столкновения, геометрии детектора, в случае столкновения других ядер?

5. Непонятно, в чем преимущество метода машинного обучения (ML) по сравнению с методом асимметрии? На рис. 5.7 показано, что разрешение обоих подходов практически не различается. Есть ли смысл использовать ML подход, подразумевающий трудоемкое обучение? Потребуется ли изменение калибровок калориметра проведения обучения с самого начала?

6. Диссертация носит методический характер, поэтому можно было бы меньше уделить внимания экспериментам, в которых автор не участвует, прежде всего в их физической программе (например, STAR, MPD, J-PARC), а

больше указать опыт восстановления центральности.

7. Логично было бы в отдельной главе описать калориметры экспериментов, для которых проведено исследование, а не описывать их в первой Главе.

8. В работе указано «Методы цифровой обработки сигналов (ЦОС) призваны обеспечить требуемое амплитудное и временное разрешение калориметра», однако не указано, а какие именно значения разрешений требуется.

9. Непонятно, какое преимущество дает метод Прони по сравнению с другими методами, хотелось бы увидеть сравнение методов.

10. Непонятно из текста, какую роль играет автор в машинном обучении, по крайней мере все ссылки указывают только на методы машинного обучения, по всей видимости, разработанные автором методы при машинном обучении использовал кто-то другой.

11. Во введении раздел 0.2 Общая характеристика работы сказано, что целью работы является разработка методов анализа данных передних адронных калориметров ядро-ядерных экспериментов с фиксированной мишенью $BM@N$, $NA61|SHINE$ и $CBM@FAIR$. Реально в работе подробно рассмотрены методы анализа данных передних адронных калориметров экспериментов $BM@N$ и $CBM@FAIR$ и практически ничего не говорится об эксперименте $NA61|SHINE$.

12. В главе 2 на рис. 2.2 приведено отделение истинных сигналов от шумов, сигналов с электрической наводкой и событий с наложением сигналов при построении зависимости коэффициента детерминации от заряда сигнала. Истинные события должны располагаться вблизи нуля коэффициента детерминации, шумовые значения группируются в области больших значений коэффициента детерминации и малых значений заряда сигнала. Экспериментальные значения имеют значимую статистику до значений коэффициента детерминации около 0,2. В диссертации не приводится критерий отделения истинных событий от шумовых.

13. В главе 5 при рассмотрении применения модели Глаубера для определения центральности и ее использования совместно с двухкомпонентной

моделью «мягких» и «жестких» взаимодействий ядер вводится параметризация числа нуклон-нуклонных столкновений (N_{coll}) и числа нуклонов участников (N_{part}). Ничего про вид параметризации N_{coll} и N_{part} в диссертации не сказано.

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. Разработан и впервые применен к сигналам передних адронных калориметров экспериментов $BM@N$ и $CBM@FAIR$ метод цифровой обработки сигналов на основе метода наименьших квадратов Прони. Разработан критерий оценки качества обработки сигналов, обеспечивающий надежную фильтрацию электронных шумов и помех электроники.
2. Разработано программное обеспечение для чтения и записи данных передних адронных калориметров экспериментов $BM@N$ и $CBM@FAIR$. Программное обеспечение предназначено для преобразования записанных данных в формат данных эксперимента и для организации к ним доступа с целью последующего анализа. Разработано программное обеспечения для отслеживания в реальном времени качества данных передних адронных калориметров экспериментов $BM@N$ и $CBM@FAIR$ в физических сеансах.
3. Разработан метод выравнивания откликов секций передних адронных калориметров путем восстановления треков космических мюонов в материале детектора. Метод особенно актуален для передних адронных калориметров экспериментов $BM@N$ и $CBM@FAIR$ из-за отсутствия вторичных мюонных пучков на их ускорительных комплексах.
4. Разработан метод цифровой обработки сигналов переднего адронного калориметра эксперимента CBM на основе полосового фильтра, позволяющий существенно сократить долю событий с наложениями сигналов.
5. Разработаны методы определения центральности передними адронными калориметрами с пучковым отверстием для экспериментов $BM@N$ и

СВМ@FAIR. В методах используется пространственное распределение выделенной энергии в детекторе: разработаны методы на основе средств машинного обучения и метод на основе расчета асимметрии выделенной энергии в калориметре.

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

Разработанный метод цифровой обработки сигналов на основе метода наименьших квадратов Прони позволяет надежно выделять срабатывания детектора в зашумленных данных, что особенно важно для проведения калибровки детектора, поскольку при этом требуется выделять слабые сигналы близко к уровню шума. Разработанный метод цифровой обработки сигналов на основе полосового фильтра позволяет значительно снизить долю срабатываний детектора, в которых присутствует наложение сигналов, что имеет решающее значение для экспериментов с особо высокой интенсивностью ядерных взаимодействий, таких как СВМ. Программные пакеты чтения-записи данных детектора и отслеживания качества набираемых в процессе экспериментальных сеансов данных имеют самое непосредственное практическое применение, позволяя обнаруживать и устранять в реальном времени возможные ошибки, связанные с набором данных. Разработанные методы определения центральности представляют собой практический инструмент анализа данных, позволяющий использовать пространственное распределение выделенной энергии в детекторе в поставленной задаче.

Оценка достоверности результатов выявила, что:

- Разработанный метод цифровой обработки сигналов на основе метода наименьших квадратов Прони вместе с программными пакетами чтения-записи данных уже используются в действующем эксперименте ВМ@N и прототипе эксперимента СВМ@FAIR применительно к передним адронным калориметрам и демонстрируют свою работоспособность.
- Метод выравнивания откликов секций калориметров с восстановлением треков космических мюонов был опробован параллельно проведению работ по определению линейности отклика и энергетического разрешения сборки модулей адронного калориметра на тестовом канале транспортировки пучка

T10 ускорителя PS (Proton Synchrotron) в ЦЕРНе. Расчетные калибровочные коэффициенты, полученные указанным методом и коэффициенты, полученные при прохождении модулей калориметра пучковыми мюонами, находятся в согласии.

- Разработанные методы определения центральности ядро-ядерных столкновений были применены к смоделированным данным отклика калориметра PSD эксперимента CBM. Используемая модель DCM-QGSM-SMM является основным модельным инструментом коллаборации CBM.

Личный вклад соискателя состоит в получении основных результатов диссертации, выносимых на защиту.

На заседании 21 сентября 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Карпушкину Николаю Михайловичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 7 докторов наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 21, 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.

21.09.2023 г.

М.П.