

**Отзыв официального оппонента
Мочалова Василия Вадимовича**

**на диссертацию Карпушкина Николая Михайловича
«Методы анализа данных передних адронных калориметров
ядро-ядерных экспериментов с фиксированной мишенью»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.2 –
Приборы и методы экспериментальной физики.**

Диссертационная работа Карпушкина Н.М. посвящена методам обработки и анализа данных передних адронных калориметров в ядро-ядерных экспериментах с фиксированной мишенью. Исследования проведены в рамках экспериментов $BM@N$ (ОИЯИ, г. Дубна) и CBM (ФАИР, г. Дармштадт), основной целью которых является изучение ядерной материи в области фазового перехода ядерной материи. Передние адронные калориметры играют важную роль для определения таких характеристик ядерных столкновений, как центральность и плоскость реакции. Работа охватывает такие практические задачи как цифровая обработка сырых сигналов (ЦОС), разработка программных пакетов для чтения-записи и отслеживания качества данных в экспериментальных сеансах, калибровка передних адронных калориметров экспериментов $BM@N$ и $CBM@FAIR$, а также методы определения центральности.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, и заключения.

Во **введении** подробно обозначаются цели и задачи диссертационной работы. Актуальность выбранной темы определяется как задачами экспериментов, так и необходимостью разработки новых методов. Представлены выносимые на защиту положения, освещена апробация результатов и указаны публикации автора в данной области.

Первая глава посвящена анализу действующих, строящихся и планируемых экспериментов, нацеленных на изучение сильновзаимодействующей ядерной материи при высокой барионной плотности. Уделено внимание устройству передних адронных калориметров, используемых для определения геометрии столкновений в экспериментах $NA61/SHINE$, $BM@N$ и $CBM@FAIR$.

Методы цифровой обработки сигналов передних адронных калориметров представлены **во второй главе**. Акцент делается на улучшении соотношения сигнал/шум и снижении влияния наложения сигналов.

В третьей главе описывается созданное программное обеспечение для декодирования и отслеживания качества данных в режиме реального времени от передних адронных калориметров экспериментов $BM@N$ и $CBM@FAIR$.

В четвертой главе дается описание метода амплитудной калибровки элементов передних адронных калориметров. Важным аспектом этого метода является использование трехмерной сегментации детектора, что обеспечивает возможность реконструкции треков космических мюонов и использование этих данных для калибровки детектора.

В пятой главе представлены разработанные методы определения центральности столкновений с использованием передних адронных калориметров с пучковым отверстием.

Заключение содержит сжатое изложение ключевых результатов диссертации.

В результате работы разработаны методы цифровой обработки сигналов, выравнивания откликов передних адронных калориметров и определения центральности по данным этих калориметров. Разработан критерий оценки качества обработки сигналов, позволяющий подавить фоновые процессы. Создано программное обеспечение для передних адронных калориметров экспериментов $BM@N$ и CBM .

Данная диссертация представляет собой законченное исследование, выполненное на хорошем научном уровне. Каждая глава завершается промежуточными выводами, способствуя логичности и последовательности изложения. Общий объем диссертации составляет 113 страниц, включая 50 рисунков и 2 таблицы. Текст работы изложен понятным языком, результаты докладывались автором на международных конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах.

Актуальность и новизна приведенных в диссертации результатов не вызывает сомнений.

Практическая польза представляемой работы заключается непосредственно в применении разработанных методов для в действующем и готовящемся экспериментах, а именно: разработанный метод ЦОС позволяет надежно выделять срабатывания детектора в зашумленных данных и значительно снизить долю срабатываний детектора, в которых присутствует наложение сигналов, что имеет большое значение для экспериментов с особо высокой интенсивностью ядерных взаимодействий.

В то же время имеется несколько замечаний и вопросов к автору диссертационной работы.

1. Считаю, так как диссертация носит методический характер, то можно было меньше уделить внимания экспериментам, в которых автор не участвует, прежде всего их физической программе (например, СТАР, МРД, J-PARC), а больше указать опыт восстановления центральности.
2. Логично было бы в отдельной главе описать калориметры экспериментов, для которых проведено исследование, а не описывать их в первой Главе.
3. 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.
4. Непонятно, какое преимущество дает метод Прони по сравнению с другими методами, хотелось бы увидеть сравнение методов.
5. 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.

Отмеченные недостатки не могут изменить положительного впечатления от работы и существенным образом повлиять на общую оценку диссертации Карпушкина Николая Михайловича, которая является законченной научно-исследовательской работой и характеризуется высоким научным уровнем. Приведенные выше замечания ни в коем случае не снижают общей высокой оценки работы. В целом, диссертация оставляет впечатление законченного научного исследования, выполненного на высоком профессиональном уровне. Можно отметить хорошее оформление диссертации и ясный язык изложения.

Основные результаты диссертации являются, несомненно, важными для проведения экспериментальных исследований, прежде всего в ОИЯИ. Новизна и достоверность полученных результатов не вызывают сомнений.

Основные результаты по теме диссертации своевременно опубликованы в 10 печатных изданиях, 8 из которых в периодических индексируются Web of Science и Scopus, в том числе три работы опубликованы в российских журналах, рекомендованных ВАК. В опубликованных автором в рецензируемых научных изданиях статьях достаточно полно отражены основные результаты работы.

Защищаемые положения и выводы являются полностью обоснованными и их достоверность не вызывает сомнения. Автореферат диссертации оформлен в полном

соответствии с требованиями ВАК, полностью отражает содержание диссертации и содержит необходимые формулировки цели и задач исследований, выносимых на защиту.

С учетом изложенного выше можно сделать вывод, что диссертационная работа Карпушкина Николая Михайловича «Методы анализа данных передних адронных калориметров ядро-ядерных экспериментов с фиксированной мишенью», отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Карпушкин Николай Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,

Мочалов Василий Вадимович,

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.23 – Физика высоких энергий.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий имени А.А.Логанова Национального исследовательского центра "Курчатовский институт"»,

142281, Московская область, город Протвино, площадь Науки, дом 1,

тел. +7(4967)713467, адрес электронной почты: mochalov@ihep.ru,

Отделение экспериментальной физики, лаборатория поляризованных экспериментов, ведущий научный сотрудник.

« 29 » августа 2023 г.

_____ В.В. Мочалов

Подпись В.В. Мочалова удостоверяю

Ученый секретарь

НИЦ "Курчатовский институт" — ИФВЭ, к.ф.-м.н.

_____ Н.Н. Прокопенко

Мочалов Василий Вадимович

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

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

1. Концептуальный проект эксперимента СПАСЧАРМ, Сотрудничество СПАСЧАРМ, ЭЧАЯ, 2023, том 54, выпуск 1, стр. 6-189 [Physics of Particles and Nuclei, 2023, V. 54, N 1, p.69]
2. Precision Studies of QCD in the Low Energy Domain of the EIC Prog.Part.Nucl.Phys. (2023) 104032 DOI: 10.1016/j.pnpnp.2023.104032
3. Science Requirements and Detector Concepts for the Electron-Ion Collider : EIC Yellow Report, Published in: Nucl.Phys.A 1026 (2022) 122447
4. Technical design report for the endcap disc DIRC, PANDA Collaboration, Published in: J.Phys.G 49 (2022) 12, 120501
5. Victor Abramov et al, “Feasibility Studies for the Measurement of Single-spin Asymmetry in Inclusive Production of K^0_S and $\omega(782)$ Mesons at U70 (Protvino)”, JPS Conf. Proc. 37, 020504 (2022), DOI: 10.7566/JPSCP.37.020504.
6. PANDA Phase One, Eur.Phys.J.A 57 (2021) 6,184, DOI: 10.1140/epja/s10050-021-00475-y
7. The potential of Λ and Ξ studies with PANDA at FAIR, Eur.Phys.J.A 57 (2021) 4, 154, DOI: 10.1140/epja/s10050-021-00386-y
8. Study of excited Ξ baryons with the PANDA detector, Eur.Phys.J.A 57 (2021), 149, DOI:10.1140/epja/s10050-021-00444-5
9. Measurement of time-like proton electromagnetic form factors from $\bar{p}p \rightarrow \mu^+\mu^-$ PANDA at FAIR PANDA Collaboration, G. Barucca et al., Published in: Eur.Phys.J.A 57 (2021) 1, 30, DOI: 10.1140/epja/s10050-020-00333-3
10. Proton form factor ratio $\frac{\mu_p G_E^p}{G_M^p}$ from double spin asymmetry, SANE Collaboration, A. Liyanage et al., Published in: Phys.Rev.C 101 (2020) 3, 035206, DOI: 10.1103/PhysRevC.101.035206
11. High Precision Measurement of Compton Scattering in the 5 GeV region, PrimEx Collaboration, P. Ambrozewicz et al., Published in: .Lett.B 797 (2019) 134884, DOI: 10.1016/j.physletb.2019.134884
12. Technical design report for the PANDA Barrel DIRC detector, B. Singh, Published in J.Phys. G46 (2019) no.4, 045001, DOI: 10.1088/1361-6471/aade3d
13. Precision resonance energy scans with the PANDA experiment at FAIR: Sensitivity study for width and line-shape measurements of the $X(3872)$ PANDA Collaboration (G. Barucca et al.), Published in Eur.Phys.J. A55 (2019) no.3, 42, DOI: 10.1140/epja/i2019-12718-2
14. Revealing Color Forces with Transverse Polarized Electron Scattering, SANE Collaboration (W. Armstrong et al.). Published in Phys.Rev.Lett. 122 (2019) no.2, 022002, DOI: 10.1103/PhysRevLett.122.022002