

ОТЗЫВ

официального оппонента Яшина Ивана Васильевича 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 посвящена разработке методов обработки и анализа данных, полученных от передних адронных калориметров ядро-ядерных экспериментов с фиксированной мишенью. Эти детекторы играют важную роль в определении центральности ядро-ядерных столкновений, что является важной задачей в современных исследованиях свойств сильновзаимодействующей ядерной материи. В диссертации представлены различные методики анализа данных передних адронных калориметров существующих и строящихся экспериментов. Представлены методы цифровой обработки «сырых» сигналов: разработанные автором программные пакеты для чтения-записи и отслеживания качества данных в экспериментальных сеансах, метод калибровки передних адронных калориметров для экспериментов $BM@N$ (ОИЯИ, г. Дубна) и $CBM@FAIR$ (эксперимент по изучению барионной материи на FAIR), а также методы определения центральности.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, а также библиографии. В каждой главе представлены промежуточные выводы. Общий объем диссертации составляет 113 страниц, включая 50 рисунков и 2 таблицы. Библиография содержит 143 наименования.

Во **введении** дается краткое описание темы диссертации, обосновывается ее актуальность и цели исследования, а также обсуждаются научная новизна и методология работы, формулируются выносимые на защиту положения, обосновывается достоверность результатов и описана их апробация, указаны публикации автора по теме диссертации и его личный вклад, а также описана структура диссертации.

Первая глава посвящена обзору действующих, строящихся и планируемых экспериментов по изучению сильновзаимодействующей ядерной материи при высокой барионной плотности. Отдельное внимание уделено передним адронным калориметрам экспериментов $NA61/SHINE$, $BM@N$ и $CBM@FAIR$.

Во **второй главе** рассматриваются методы цифровой обработки сигналов передних адронных калориметров. Основная цель этих методов - улучшение соотношения сигнал/шум и снижение доли событий с наложением сигналов при работе с высокоинтенсивными пучками ядер.

Третья глава посвящена разработке программного обеспечения для декодирования и отслеживания качества данных в реальном времени, поступающих с передних адронных калориметров экспериментов $BM@N$ и $CBM@FAIR$.

В **четвертой главе** описан метод амплитудной калибровки элементов передних адронных калориметров с использованием космических мюонов и трехмерной сегментации детектора.

В **пятой главе** обсуждаются методы определения центральности при помощи передних адронных калориметров с пучковым отверстием в экспериментах $BM@N$ и $CBM@FAIR$, что достигается использованием информации о пространственном распределении энергии в детекторе.

В **заключении** приведены основные результаты работы, которые заключаются в следующем:

1. Разработан метод цифровой обработки сигналов (ЦОС), основанный на методе наименьших квадратов Прони, позволяющий сопоставить набору эквидистантных зашумленных экспериментальных значений амплитуды сигнала модель, состоящую из композиции экспоненциальных функций. Разработан критерий оценки качества ЦОС, позволяющий надежно отсеивать электронные шумы и наводки электроники.

2. Создано программное обеспечение (ПО) для чтения записи данных передних адронных калориметров экспериментов $BM@N$ и CBM . Разработанное ПО обеспечивает чтение сырых бинарных файлов, их конвертацию и хранение в формате данных эксперимента, а также отвечает за организацию к ним доступа для последующего анализа.

3. Разработан метод выравнивания откликов передних адронных калориметров с использованием реконструкции треков космических мюонов в материале детектора. Метод использует наличие продольной и поперечной сегментации детекторов и особенно актуален для передних адронных калориметров экспериментов $BM@N$ и $CBM@FAIR$ ввиду отсутствия вторичных мюонных пучков на их ускорительных комплексах.

4. Для эксперимента CBM разработан метод ЦОС на основе полосового фильтра, необходимый для уменьшения доли событий с наложениями сигналов, возникающих при высоких частотах ядерных взаимодействий. Применение

разработанного фильтра снижает долю событий с наложениями с 40% всех событий до 10% всех событий. Также он позволяет отфильтровать низкочастотные флуктуации, такие как дрейф нулевого уровня, и подавить высокочастотный шум. Малое ядро разработанного фильтра позволит в дальнейшем реализовать его на уровне ПЛИС.

5. Разработаны методы определения центральности по данным передних адронных калориметров, использующие пространственное распределение выделенной энергии в детекторе. Это метод, основанный на применении асимметрии выделенной энергии в передних адронных калориметрах, и методы, использующие техники машинного обучения по принципам, схожим с анализом изображений.

Общие замечания по диссертации:

1. 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 $NA61|SHINE$.

2. 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.

3. 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.

Отмеченные замечания не влияют на качество исследования, а также на общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные решения, представляющие большую практическую ценность. Работы, вошедшие в

диссертацию, опубликованы в рецензируемых научных изданиях и являются достоверными и оригинальными. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы. Личный вклад автора диссертации в описанное исследование является определяющим. Вынесенные на защиту результаты получены автором лично, либо при его определяющем участии. Защищаемые положения и выводы, сформулированные в диссертации, являются полностью обоснованными. Достоверность полученных результатов диссертационной работы, а также ее новизна и актуальность не вызывает сомнений.

Считаю, что диссертационная работа Н. М. Карпушкина отвечает всем 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 её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Официальный оппонент,

Яшин Иван Васильевич,

кандидат физико-математических наук

по специальности 01.04.23 – Физика высоких энергий.

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.

119234, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2.

Тел. 8(495) 939-50-88, адрес электронной почты: ivn@eas.sinp.msu.ru,

« 28 » августа 2023

И.В. Яшин

Подпись (Яшина Ивана Васильевича) удостоверяю

Ученый секретарь НИИЯФ МГУ

Е.А. Сигаева

М.П.

Яшин Иван Васильевич

Кандидат 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. И. А. Золотарев, В. В. Бенгин, Б., И.В.Яшин Планетарное распределение мощности поглощенной дозы ионизирующего излучения по данным эксперимента ДЭПРОН на ИСЗ Ломоносов. // Космические исследования. — 2022. — Т. 60, № 2. — С. 99–104. DOI: 10.31857/s0023420622020078.
2. V. M. Lipunov, V. A. Sadovnichy, M. I. Panasyuk, I.V.Yashin et al Three-stage collapse of the long gamma-ray burst from grb 160625b prompt multiwavelength observaions. // Astrophysical Journal. — 2023. — Vol. 943. — P. 181. DOI: 10.3847/1538-4357/ac9307.
3. S. Bacholle, P. Barrillon, M. Battisti ...Yashin I...et al. Mini-EUSO mission to study Earth UV emissions on board the ISS // Astrophysical Journal, Supplement Series. — 2021. — Vol. 253, no. 2. — P. 36. DOI: 10.3847/1538-4365/abd93d
4. A. V. Bogomolov, V. V. Bogomolov, A. F. Iyudin ...Yashin I. V.....et al. Space weather effects from observations by moscow university cubesat constellation // Universe. — 2022. — Vol. 8. — P. 282. DOI: 10.3390/universe8050282
5. M. Korzhik, K. T. Brinkmann,I.Yashin....et al. Detection of neutrons in a wide energy range with crystalline Gd₃ Al₂ Ga₃ O₁₂, Lu₂ SiO₅ and La Br₃ doped with Ce scintillators // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. — 2019. — Vol. 931. — P. 88–91. DOI: 10.1016/j.nima.2019.04.034
6. M. Bertaina, D. Barghini, M. Battisti I.Yashin et al. Description and performance results of the trigger logic of TUS and Mini-EUSO to search for ultra-high energy cosmic rays from space // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. — 2023. — Vol. 1045. — P. 167601 DOI: 10.1016/j.nima.2022.167601