

## ОТЗЫВ

официального оппонента Семенова Павла Александровича на диссертацию Волкова Вадима Вячеславовича «Определение геометрии столкновений тяжелых ионов передними адронными калориметрами в эксперименте MPD/NICA», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 — Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа Волкова В.В. посвящена разработке методов определения геометрии тяжело-ионных столкновений передними адронными калориметрами FHCAL в эксперименте MPD/NICA (ОИЯИ, Дубна). В этом эксперименте калориметрам отведена важная роль — они должны обеспечить надежное измерение ориентации плоскости реакции и определение центральности столкновений, а также для формирования триггера. Диссертация охватывает значительную часть практических задач, необходимых для качественной работы и получения валидных результатов. В частности, в диссертации описаны оригинальные методы считывания и обработки сигналов, поступающих с электроники, установленной на калориметре, представлен ряд новых методов для определения центральности столкновений, приведены сравнения с результатами, которые могут быть получены другими детекторами. Описаны разработка и результаты работы методов определения угла плоскости реакции. Представлен созданный автором метод энергетической калибровки модулей передних адронных калориметров. Кроме того, дано описание программных пакетов, реализующих указанные методы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, списков рисунков и таблиц. Общий объем текста диссертации составляет 144 страницы, включая 79 рисунков и 1 таблицу. Список литературы содержит 164 наименования. Текст работы изложен понятно, описываемые результаты многократно представлены автором на различных международных конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах.

Во **введении** дается описание положения дел в физике высоких энергий, связанное с областью диссертации. В частности, указывается на теоретические основания изучения физики столкновений тяжелых ионов, вводятся понятие кварк-глюонной плазмы (КГП), описывается фазовая

диаграмма квантовой хромодинамики и область на этой диаграмме, которую будет изучать будущий эксперимент MPD, перечислены его физические задачи в этом направлении. Указывается цель диссертационной работы, описываются задачи, стоящие перед автором для получения положительного результата. Обсуждаются научная новизна, практическая значимость и методология работы, формулируются выносимые на защиту положения. Дается обоснование достоверности результатов и их апробация, дан список публикаций автора по теме диссертационной работы, отмечается личная роль автора в данной работе. Описаны объем и структура работы.

**Первая глава** посвящена рассмотрению методов определения геометрии столкновений тяжелых ионов. Вводятся важнейшие понятия, относящиеся к глобальным характеристикам столкновений тяжелых ионов. Описывается модель Глаубера. Значительная часть главы посвящена обзору существующих экспериментов и методам определения центральности, применяемых в этих экспериментах, уделено внимание особенностям различных подходов.

**Вторая глава** сосредоточена на описании эксперимента MPD/NICA и его детекторных систем. Дается краткий обзор физических задач, стоящих перед экспериментом. Конец главы содержит информацию о передних адронных калориметрах и их роль в эксперименте.

**Третья глава** посвящена энергетической калибровке передних адронных калориметров. В начале описываются теоретические основания, понимание которых необходимо для решения задачи, в частности физика адронных ливней. Дается описание прототипа будущего калориметра, собранного в ИЯИ РАН, на котором отрабатывались методы энергетической калибровки. Дано подробное описание алгоритмов считывания сигналов, их обработки. Представлены методы энергетической калибровки при помощи космических мюонов. Даются два ее варианта — калибровка на наклонных треках и на горизонтальных. Приведены результаты этой работы.

**В четвертой главе** дано детальное описание ряда методов определения центральности при помощи FNCal. В начале главы обосновывается выбор фрагментационной модели для проведения исследований. Представлены разработанные автором оригинальные методы, приведены результаты точности определения центральности каждым из них. Дано сравнение с методом, использующим только множественность треков заряженных частиц из время-проекционной камеры. Указывается на ряд слабых мест в методах,

которые опираются исключительно на FNCal и представлен новый метод определения центральности, который использует как данные о пространственно-энергетическом распределении энергии в калориметре, так и данные о множественности треков из время-проекционной камеры.

**В пятой главе** описаны разработанные методы измерения ориентации плоскости реакции. Дан краткий обзор методов, использующихся в других экспериментах. Введено понятие плоскости события. Представлены разработанные автором методы — один из них планируется использовать непосредственно, два других представляют из себя вспомогательные методы для оценки корректности работы первого. Продемонстрировано преимущество наличия двух калориметров и показана зависимость разрешения плоскости события от прицельного параметра.

Заключение содержит краткое изложение основных результатов диссертации.

Замечания по диссертации:

1. Значительный объем диссертации посвящен подробному описанию иных экспериментов и методам определения центральности, которые они используют. Считаю, что можно было бы несколько сократить некоторые описания, поскольку, используемые рядом экспериментов методы сильно пересекаются между собой. Также описание детекторных систем эксперимента MPD выглядит избыточным в данной работе.
2. Из текста диссертации непонятна обоснованность использования для аппроксимации формы сигнала SiPM в заданном окне распределения Гаусса (рис. 3.14). При этом нет возможности оценить и качество фита, поскольку не указано значение  $\chi^2$ . 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.
3. 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.

4. 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.
5. Иллюстрация 4.19 была бы более наглядной, особенно с точки зрения разделения корреляции на классы, если бы автор представил ее в нормированных на единицу осях, как он делал это при описании других методов определения центральности.
6. Также есть несколько замечаний по терминологии. Поскольку в русскоязычной литературе для некоторых понятий нет устоявшихся терминов, их использование является больше делом вкуса. Однако, «передняя электроника» режет слух и допускает неоднозначное толкование.

Перечисленные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Работа является оригинальным завершённым исследованием, выполненным на высоком уровне, и характеризует автора как состоявшегося научного исследователя. Диссертация охватывает широкий спектр важных задач, связанных с работой передних адронных калориметров и ожидаемых от них результатов в будущем эксперименте MPD/NICA, что явно указывает на важность и актуальность проделанной автором работы. Новизна работы также очевидна в силу детального описания разработанных Волковым В.В. методов и их широкой апробации.

Результаты работы по теме диссертации опубликованы автором в журналах, индексируемых Scopus и WoS, 2 работы опубликованы в российских журналах, рекомендованных ВАК. В этих статьях полно и качественно отражены основные результаты работы автора.

Положения, выносимые на защиту, являются обоснованными и нет причин сомневаться в их достоверности. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, оформлен в соответствии с

требованиями ВАК и включает в себя необходимые формулировки цели и задач, стоящих перед автором, выносимых на защиту.

С учетом вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Волкова Вадима Вячеславовича полностью соответствует 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 ее автор Волков Вадим Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,  
Семенов Павел Александрович,  
кандидат физико-математических наук  
по специальности 01.04.23 — «Физика высоких энергий».

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Отделение Экспериментальной Физики, ведущий научный сотрудник.

142281, Московская область, город Протвино, площадь Науки, дом 1  
Тел. 8(916)2219339, адрес электронной почты: [psemenov@ihep.ru](mailto:psemenov@ihep.ru)

«20» декабря 2023 г.

П.А. Семенов \_\_\_\_\_

Подпись (Семенова Павла Александровича) удостоверяю:

Ученый секретарь \_\_\_\_\_

Прокопенко Н.Н. \_\_\_\_\_

(ФИО секретаря)

М.П.

Семенов Павел Александрович

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. A.V.Ryazantsev et al. A Scintillating Fiber Hodoscope for the SPASCHARM Experiment at the U-70 Accelerator Complex Instrum.Exp.Tech. 66 (2023) 4, 563-569
2. V.V.Abramov et al. Conceptual Design of the SPASCHARM Experiment, Phys.Part.Nucl. 54 (2023) 1, 69-184
3. M. Preston et al. A feature-extraction and pile-up reconstruction algorithm for the forward-spectrometer EMC of the PANDA experiment, Nucl.Instrum.Meth.A 1011 (2021) 165601
4. V.V.Abramov et al. Measurement of single-spin asymmetry for charged pions in the SPASCHARM experiment at U70 accelerator, J.Phys.Conf.Ser. 1690 (2020) 1, 012164
5. S.I. Bukreeva et al. The Distributed Control System for Detectors of the SPASCHARM Experiment, Instrum.Exp.Tech. 62 (2019) 2, 150-156