

## ОТЗЫВ

официального оппонента Салахутдинова Гаяра Харисовича 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 столкновений тяжелых ионов при помощи передних адронных калориметров в будущем эксперименте MPD/NICA в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне. Роль адронных калориметров в этом коллайдерном эксперименте заключается в предоставлении надежной информации о центральности столкновений и об ориентации плоскости реакции. В диссертации представлены различные методы анализа данных с передних адронных калориметров. Представлены методы определения центральности столкновений тяжелых ионов, методы измерения ориентации плоскости реакции. Также в диссертации разработаны методика считывания и обработки сигналов с электроники передних адронных калориметров и методика энергетической калибровки модулей передних адронных калориметров. Каждый из методов имплементирован в виде программных пакетов на языке C++.

Диссертация содержит введение, пять глав, заключение, списки сокращений и условных обозначений, литературы, рисунков и таблиц. Общий объем диссертации составляет 144 страницы, включая 79 рисунков и 1 таблицу.

Введение дает общее представление об области диссертационной работы, обосновывает ее актуальность, указывает на цели исследования. В нем обсуждаются научная новизна, формулируются выносимые на защиту положения. Описывается методология и практическая значимость, дается обоснование достоверности результатов и описывается их апробация. Приведен список публикаций автора по теме диссертации, личный вклад автора и структура работы.

Первая глава посвящена глобальным характеристикам столкновений тяжелых ионов, а также содержит развернутый обзор современных экспериментов, работающих в области физики, в рамках которой

выполнена диссертация. Приводится ряд экспериментов и описывается как в них определяется центральность столкновений.

Вторая глава подробно рассказывает об эксперименте MPD на ускорительном комплексе NICA, его задачах и параметрах. Рассмотрены все основные детекторы эксперимента, которые будут использоваться в его первой фазе. В заключении главы показана роль передних адронных калориметров в MPD.

В третьей главе рассмотрены параметры передних адронных калориметров и их энергетическая калибровка. Описывается методика считывания сигналов, анализ их формы, отбор сигналов, сепарация сигнала от шума. Описана методика энергетической калибровки калориметров на космических мюонах.

В четвертой главе описаны методы определения центральности столкновений тяжелых ионов. Дается описание проблематики, связанной в особенности с наличием пучкового отверстия в калориметрах. Показаны результаты применения различных методов, указаны их преимущества и недостатки.

В пятой главе обсуждаются методы измерения ориентации плоскости реакции. Указывается роль плоскости реакции в исследованиях коллективных потоков и дается содержательное описание измерения плоскости реакции в ряде других экспериментов. Приводятся разработанные автором методы и показываются их результаты.

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

1. Разработаны методы считывания и анализа сигналов с электроники передних адронных калориметров. Они обеспечивают фильтрацию, подавление шумов, отделение сигналов от шума.

2. Разработана методика энергетической калибровки модулей передних адронных калориметров, использующая космические мюоны с различной геометрией треков.

3. Разработаны оригинальные методы определения центральности столкновений тяжелых ионов. Методы используют информацию о пространственном распределении энергии в модулях калориметров. Автором найдены наблюдаемые, которые позволяют оценивать центральность столкновений. Разработаны подходы для разделения

корреляций, содержащих эти наблюдаемые на классы центральности.

4. Разработаны методы измерения угла ориентации плоскости реакции. Методы используют распределение энергии по поверхности калориметров. Достигнута высокая точность восстановления искомого угла, на уровне 20 градусов.

5. Все описанные методы реализованы в виде соответствующего софта, написанного на языке C++ и доступны коллаборации.

К диссертационной работе имеется ряд замечаний и вопросов.

1. Автор уделяет в первой главе значительное внимание различным экспериментам и подробно описывает эксперимент MPD во второй главе. Тем не менее, 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.
2. В главе 3 дается подробное описание устройства калориметров FHCAL 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.
3. В свете указанного в прошлом 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?
4. 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.

5. 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.

Приведенные замечания, тем не менее, не снижают ценности проделанной работы, которая по-прежнему может быть высоко оценена и является полноценным завершённым и логически согласованным исследованием. Работа безусловно имеет большое практическое значение для эксперимента MPD и может быть применена к другим экспериментам с адронными калориметрами.

Работы автора, указанные в диссертации и автореферате, опубликованы в рецензируемых научных журналах, они являются достоверными и оригинальными. Автореферат отражает в полной мере содержания диссертационной работы. Личный вклад автора ясен и является определяющим. Вынесенные автором на защиту положения и результаты работы являются полностью обоснованными. Достоверность результатов, полученных Волковым В.В. в рамках работы, а также ее новизна и актуальность не вызывает сомнений.

Таким образом, считаю, что диссертационная работа В.В. Волкова 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 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,  
Салахутдинов Гаяр Харисович,  
доктор физико-математических наук  
по специальностям 01.04.08 — «Физика плазмы», 01.04.01 — «Приборы и  
методы экспериментальной физики».

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный  
университет «МИФИ», Отделение ядерной физики и технологий офиса  
образовательных программ, профессор.

115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, 31

Тел. 8(499)3234069, адрес электронной почты: saip07@mail.ru

Г.Х. Салахутдинов

12.12.2023

Подпись Салахутдинова Гаяра Харисовича удостоверяю:

директор по персоналу НИЯУ МИФИ

Л.В. Васильченко

\_\_\_\_\_

М.П.

Салахутдинов Гаяр Харисович,  
доктор физико-математических наук  
по специальностям 01.04.08 — «Физика плазмы», 01.04.01 — «Приборы и  
методы экспериментальной физики».

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

1. Tilikin, I.N., Shelkovenko, T.A., Pikuz, S.A..., G. Kh. Salakhutdinov et al. A Study of the Energy Component of X-Ray Radiation from an X-Pinch Hot Spot at the BIN Facility. // Instrum Exp Tech 66, 600–603 (2023). <https://doi.org/10.1134/S0020441223030144>
2. Efimov, N.E., Grigoryeva, I.G., Makarov, A.A. ..., G. Kh. Salakhutdinov et al. Measuring the Spectrum of the Soft Component of X-Ray Plasma Radiation at the MIFIST-0 Tokamak. // Instrum Exp Tech 66, 257–262 (2023). <https://doi.org/10.1134/S0020441223020148>
3. Tilikin, I.N., Shelkovenko, T.A., Pikuz, S.A. ..., G. Kh. Salakhutdinov et al. Studies into the Spectra of Pulsed X-Ray Radiation of Hybrid X-Pinch Plasma. // Instrum Exp Tech 66, 67–72 (2023). <https://doi.org/10.1134/S0020441222060173>
4. Vovchenko, E.D., Grigoryeva, I.G., Kushin, V.V. ..., G. Kh. Salakhutdinov et al. Measurement of the Soft X-Ray Emission Energy Spectrum for a Vacuum Spark with Laser Triggering. // Plasma Phys. Rep. 48, 1306–1309 (2022). <https://doi.org/10.1134/S1063780X22600827>
5. Grigorieva, I.G., Makarov, A.A., Korf, A.N., G. Kh. Salakhutdinov. Comparative Characteristics of Methods for Measuring the Pulsed X-Ray Spectra. // Instrum Exp Tech 65, 621–624 (2022). <https://doi.org/10.1134/S002044122204011X>
6. Baranov, A.G., Baskov, V.A., Vasilenko, V.K. ..., G. Kh. Salakhutdinov et al. Measurement of the Parameters of the Forward Scintillator Wall of the BM@N Experiment. // Instrum Exp Tech 65, 42–46 (2022). <https://doi.org/10.1134/S002044122201002X>
7. Baranov, A.G., Baskov, V.A., Gerasimov, D.P. ..., G. Kh. Salakhutdinov et al. Forward Hodoscopes of Charged Nuclei Fragments for the BM @ N Experiment. // Instrum Exp Tech 64, 676–679 (2021). <https://doi.org/10.1134/S0020441221050171>
8. Baranov, A.G., Guber, F.F...., G. Kh. Salakhutdinov et al. The Amplitude Parameters of Prototypes of the Forward Hodoscopes for the

BM@N Experiment. // Instrum Exp Tech 64, 352–356 (2021).  
<https://doi.org/10.1134/S0020441221020111>

9. Bashutin, O.A., Grigoryeva, I.G., Korf, A.N., G. Kh. Salakhutdinov. Methods for Research on the Spectra of Pulse X-Ray Radiation and Emission of Micropinched Plasma Electrons. // Instrum Exp Tech 63, 355–358 (2020).  
<https://doi.org/10.1134/S0020441220030082>

10. Grigoryeva, I.G., Korf, A.N., G. Kh. Salakhutdinov et al. Scintillation Crystals Based on Complex Oxides of Group 3 Elements. // Phys. Atom. Nuclei 83, 1671–1674 (2020). <https://doi.org/10.1134/S1063778820100063>

11. G. Kh. Salakhutdinov, X-ray radiation plasma of high-current electric discharge // Procedia Computer Science, Volume 169, 2020, Pages 342-346, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.198>

12. Bashutin, O.A., Grigoryeva, I.G., G. Kh. Salakhutdinov et al. Measurement of Electron Emission Spectra from Micropinch Discharge Plasma. // Phys. Atom. Nuclei 83, 1445–1448 (2020), <https://doi.org/10.1134/S106377882010004X>

13. Irina Grigoryeva, Gayar Salakhutdinov, The use of scintillation crystals in nuclear medicine // Procedia Computer Science, Volume 169, 2020, Pages 347-352, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.200>