

УТВЕРЖДАЮ

Директор Лаборатории физики высоких энергий
им. В.И. Векслера и А.М. Балдина

_____ В.Д. Кекелидзе
« » _____ 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-технического совета
Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина
Объединенного института ядерных исследований

Диссертация **«Времяпролетная система идентификации частиц многоцелевого детектора (MPD)»** выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина.

В 2004 году В.А. Бабкин окончил физико-математический факультет Белгородского государственного университета (сейчас Белгородский государственный национальный исследовательский университет) по специальности «Физика» с присуждением квалификации «Учитель физики и математики».

В период подготовки диссертации Бабкин Вадим Андреевич работал в Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина в должности младшего научного сотрудника Научно-исследовательского отдела релятивистской ядерной физики с июля 2004 года, в должности научного сотрудника Научно-экспериментального отдела многоцелевого детектора – с июля 2009 года, в должности старшего научного сотрудника – с июля 2018 года.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2019 году.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук В.М. Головатюк, начальник Научно-экспериментального отдела многоцелевого детектора Лаборатории физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

В диссертационной работе представлены результаты разработки времяпролетной системы идентификации заряженных частиц (TOF) для эксперимента MPD на ускорительном комплексе NICA. Работы проводились в рамках темы 02-0-1065-2007/2023 Проблемно-тематического плана ОИЯИ «Комплекс NICA: создание комплекса ускорителей, коллайдера и экспериментальных установок на встречных и выведенных пучках ионов для изучения плотной барионной материи, спиновой структуры нуклонов и легких ядер, проведения прикладных и инновационных работ».

Диссертация изложена на 150 страницах и состоит из введения, 5 глав и заключения.

Первая глава является обзорной. В ней перечислены цели эксперимента, основные физические задачи и требования к установке для решения этих задач.

Во второй главе описывается устройство и принцип работы многозачерной резистивной плоской камеры (МРПК) и обсуждаются требования, предъявляемые к ее конструкции, газовой смеси и считывающей электронике. Далее формулируются основные теоретические принципы ее работы. Рассматривается процесс формирования и распространения сигнала в МРПК от образования при пролете частицей кластеров ионизации до распространения наведенного на считывающие электроды электрического сигнала по дифференциальной линии стрип-кабель-усилитель. Особое внимание уделяется специфике работы МРПК. Анализируется теоретический предел временного разрешения МРПК.

В третьей главе описываются этапы создания и испытаний прототипов МРПК для времяпролетной системы MPD. Представлены рабочие характеристики разработанных детекторов: эффективность, временное и координатное разрешение, загрузочные способности. Приводятся результаты тестирования детекторов на пучке дейтронов Нуклотрона, и анализируются полученные результаты.

Четвертая глава посвящена описанию технических параметров времяпролетной системы TOF многоцелевого детектора, разработке вспомогательных подсистем и компьютерному моделированию параметров системы в условиях эксперимента.

Пятая глава посвящена созданию инфраструктуры для исследования резистивных плоских камер с использованием естественного ионизирующего излучения (космических частиц) и пучков ускоренных частиц Нуклотрона, а также инфраструктуры массового производства детекторов для времяпролетной системы многоцелевого детектора.

Актуальность задачи:

Экспериментальная установка MPD предназначена для изучения свойств экстремально горячей и плотной ядерной материи на ускорительном комплексе NICA. Широкий круг сложных физических задач многоцелевого детектора подразумевает, что при его создании будут использованы самые передовые мировые технологии и разработки. Одной из таких разработок является система идентификации частиц методом измерения времени пролета на базе МРПК. Данный тип детекторов на настоящее время развивается весьма активно, о чем свидетельствует большое число статей по данной тематике во множестве специализированных изданий.

Для первого этапа работы многоцелевого детектора необходимо создать центральную часть времяпролетной системы общей площадью более 50 м². Временное разрешение системы должно позволять разделять заряженные адроны с импульсами до 3 ГэВ/с с максимально возможной эффективностью.

Диссертационная работа посвящена разработке и созданию прототипов МРПК, их тестированию и оптимизации параметров под требования эксперимента MPD. Помимо соответствия физическим требованиям, разрабатываемый детектор TOF должен быть максимально надёжным и способным длительное время работать в магнитном поле до 0.5 Тл.

Актуальность диссертационной работы определяется необходимостью разработать, исследовать параметры и создать в установленный срок полномасштабную детектирующую систему, удовлетворяющую сложным конструктивным и физическим требованиям.

Научная новизна:

В рамках данной диссертационной работы были получены следующие новые научные и технические результаты:

1. Изучено влияние неоднородности диэлектрика вблизи считывающего электрода МРПК на форму выходного дифференциального сигнала со стрипов. На основе полученных результатов предложена и разработана новая трехсекционная конструкция МРПК с симметричным стриповым считыванием.

2. Специально для времяпролетной системы MPD разработана и испытана трехсекционная МРПК со стриповыми считывающими электродами со средним временным разрешением лучше 50 пс при эффективности регистрации более 99%.

3. Впервые на пучке Нуклотрона была изучена загрузочная способность МРПК с низкорезистивным стеклом. Показано, что эффективность такого детектора не менее 90% при загрузках до 70 кГц/см².

Практическая значимость работы:

1. На выведенном пучке Нуклотрона ОИЯИ создана и введена в эксплуатацию новая современная экспериментальная установка «Тестовый канал МРД» для исследования параметров детекторов, в том числе и для будущих экспериментов.

2. Спроектирована и изготавливается времяпролетная система ТОФ для детектора МРД, позволяющая с высокой эффективностью идентифицировать заряженные частицы в широком диапазоне их импульсов.

3. В ЛФВЭ ОИЯИ создана и сдана в эксплуатацию инфраструктура для массового производства детекторов для времяпролетных систем, в том числе и для установки МРД.

4. Разработаны, собраны и запущены в работу стенды для испытаний модулей детекторов на основе трехсекционных МРПК.

Полученные в результате выполненных работ научные данные и технические наработки могут быть использованы в будущем для создания и модернизации подобных систем в других экспериментах, а также для разработки новых детекторов на основе конструкции, предложенной в данной работе.

Научно-технический совет ЛФВЭ отмечает следующие наиболее важные результаты данной диссертационной работы, в получение которых В.А. Бабкин внёс определяющий вклад:

Разработана новая трехсекционная конструкция многоззорной резистивной плоскопараллельной камеры с симметричным стриповым считыванием. При испытаниях прототипа такого детектора на пучке заряженных частиц получено наилучшее временное разрешение 40 пс при эффективности регистрации выше 99%.

Спроектирована времяпролетная система ТОФ для многоцелевого детектора на базе разработанной трехсекционной конструкции МРПК. Для создаваемой времяпролетной системы было проведено моделирование с использованием программного пакета MPDRoot, которое показало, что предложенная конструкция системы полностью удовлетворяет требованиям эксперимента МРД.

Разработана, собрана и запущена в эксплуатацию базовая установка «Тестовый канал МРД» на канале вывода 4В Нуклотрона.

Создана и сдана в эксплуатацию инфраструктура для массового производства детекторов для времяпролетных систем в ЛФВЭ ОИЯИ.

Разработаны, собраны и запущены в работу стенды для испытаний модулей детекторов на основе трехсекционных МРПК на космических частицах.

Все результаты, приведенные в работе, получены самим автором или при его непосредственном активном участии и руководстве.

Работы, вошедшие в диссертацию, поддержаны грантами ОИЯИ для молодых ученых и специалистов в 2011, 2013, 2015, 2016 и 2018 годах. По результатам работ, вошедших в диссертацию, автору присуждалась 2-я премия конкурса работ ЛФВЭ за 2015 и 2017 годы.

Апробация полученных результатов выполнена как автором лично, так и в соавторстве, на 13 конференциях и совещаниях.

Результаты работ, составивших основу диссертации, представлены в 15 публикациях в изданиях, индексируемых в базах научного цитирования Scopus, WoS и РИНЦ. Список публикаций и выступлений на конференциях представлен ниже.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Kh.U. Abraamyan, (...), V.A. Babkin, et al., The MPD detector at the NICA heavy-ion collider at JINR // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A628(1) (2011), p. 99.
2. V.A. Babkin, S.V. Volgin, V.A. Voskobochnik, V.M. Golovatyuk, and S.P. Lobastov, Time-of-Flight System for the MultiPurpose Detector (MPD) // Bulletin of the RAS: Physics, 75(9) (2011), p. 1277.
3. WeiPing Zhu, (...), V. Babkin, V. Golovatyuk, M. Rumiantcev, A real-size MRPC developed for CBM-TOF // Science China Technological Sciences, 56(11) (2013), p. 2821.
4. W. Zhu, (...), V. Babkin, et al., Study on the rate capability of MRPCs assembled with thin glass // 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (2013 NSS/MIC), Seoul, 2013, 6829460.
5. Zhu Weiping, (...), V. Babkin, et al., A thin float glass MRPC for the outer region of CBM-TOF wall // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A735 (2014), p. 277.
6. V.A. Babkin, et al., Strip MRPC for the MPD/NICA Time-of-Flight System // Proceedings of TIPP-2014, PoS(TIPP2014)289.
7. V. Babkin, et al., Fast detectors for the MPD/NICA time-of-flight system // Bulgarian Chemical Communications, 47(Special Issue-B) (2015), p. 215.
8. V.I. Yurevich, (...), V.A. Babkin, et al., Beam Tests of Cherenkov Detector Modules with Picosecond Time Resolution for Start and L0 Trigger Detectors of MPD and BM@N Experiments // Phys. Part. Nuclei Lett., 12(6) (2015), p. 778.
9. V. Babkin, et al., Triple-stack Multigap Resistive Plate Chamber with Strip Readout // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A824 (2016) p. 490.
10. V.A. Babkin, et al., Development of the MRPC for the TOF system of the MultiPurpose Detector // J. Instrum 11 (2016) C06007.

- 11.V.A. Babkin, et al., Status of the front-end electronics for the time-of-flight measurements at the MPD experiment // Phys. Part. Nuclei Lett., 13(5) (2016), p. 532.
- 12.D. Dabrowski, (...), V. Babkin, et al., Gas System for MPD Time-of-Flight Detector // Acta Physica Polonica B (Proceedings Supplement), 9(2) (2016), p.203.
- 13.V.A. Babkin, et al., The MPD test beam setup for testing detectors with the Nuclotron beams // Instrum. Exp. Tech. 60(3) (2017), p. 307.
- 14.A.V. Dmitriev, (...) V.A. Babkin, et al., Control and readout electronics of the time-of-flight system of the MPD // CEUR Workshop Proceedings, 2023 (2017), p.129.
- 15.Babkin, V.A. et al., Time-of-Flight particles identification in the MultiPurpose Detector at NICA // PoS(EPS-HEP2019)209.

Результаты диссертационной работы докладывались автором на:

1. LX Международная конференция по ядерной физике «Ядро-2010» (Санкт-Петербург, Россия, 07/2010);
2. 12th Vienna Conference on Instrumentation – «VCI 2010» (Вена, Австрия, 02/2010);
3. Сессия-конференция Секции ЯФ ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий» (Москва, Россия 11/2012);
4. XVII конференция ОМУС-2013 (Дубна, Россия, 04/2013);
5. «Technology and Instrumentation in Particle Physics - TIPP-14» (NIKHEF, Нидерланды, Амстердам, 06/2014);
6. «13th Pisa meeting for advanced detectors» (INFN, Бьядола, о. Эльба, Италия, 05/2015);
7. «SPIN-Praha-2015, Advanced Studies Institute, Symmetries and Spin»(Прага, Чешская Республика, 07/2015);
8. «The XIII workshop on resistive plate chambers and related detectors–RPC2016» (Гент, Бельгия, 02/2016);
9. «Instrumentation for Colliding Beam Physics – INSTR17» (Новосибирск, Россия, 02/2017);
- 10.CREMLIN WP7 "Super c-tau factory workshop" (Новосибирск, Россия, 05/2018);
- 11.The European Physical Society Conference on High Energy Physics «EPS-HEP2019» (Гент, Бельгия, 07/2019);
- 12.NICA days 2015, 2017, 2019 (Варшава, Польша, 11/2015-2019);
- 13.«Instrumentation for Colliding Beam Physics – INSTR-20» (Новосибирск, Россия, 02/2020).

Диссертационная работа Бабкина В.А. удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики» и является законченной научно-квалификационной работой.

Диссертация включает в себя обзор работ по теме исследования и содержит базовые теоретические и методические данные по принципам работы многозачерных резистивных плоскопараллельных камер. Приводятся аналитические расчеты основных рабочих параметров предложенной конструкции.

В работе представлен весь процесс разработки, тестирования и оптимизации МРПК для времяпролетной системы TOF MPD от создания первого маленького прототипа до полномасштабного детектора, запущенного в массовое производство.

В работе детально описана технология изготовления принципиально новой трехсекционной многозачерной резистивной плоскопараллельной камеры для времяпролетной системы многоцелевого детектора.

Наконец, приводится описание специально созданных для данной работы тестовых установок, одна из которых является базовой установкой на выведенных пучках Нуклотрона «Тестовый канал MPD».

НТС ЛФВЭ ОИЯИ рекомендует диссертацию к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Заключение принято Научно-техническим советом Лаборатории Физики высоких энергий им. В.И. Векслера и А.М. Балдина Объединенного института ядерных исследований. Проголосовало членов НТС ЛФВЭ из полного состава численностью человек.

Результаты голосования: «за» - чел., «против» - ,
«воздержалось» - , протокол № от

Заключение составил
начальник сектора №1 НЭОМД
кандидат физ.-мат. наук

С.А. Мовчан

Председатель НТС ЛФВЭ
доктор физ.-мат. наук

Е.А.Строковский

Ученый секретарь НТС ЛФВЭ
кандидат физ.-мат. наук

С.П.Мерц