

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Харламова Петра Ильича
на тему: «Методика тестирования прототипа модуля трековой системы
эксперимента VM@N»
по специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных
частиц, физика высоких энергий»

В настоящее время наиболее распространёнными детекторами для целей восстановления треков частиц и вершин взаимодействий в экспериментальной физике являются кремниевые микрополосковые детекторы. Они обладают преимуществами перед другими типами координатно-чувствительных детекторов – удобством использования, невысокими напряжениями питания, компактностью, малым количеством вещества по треку частиц и высоким пространственным разрешением до единиц микрометров, и хорошо себя зарекомендовали в экспериментах физики высоких энергий. Однако каждая экспериментальная установка физики высоких энергий обладает своими особенностями, зависящими от целей эксперимента, и условий эксплуатации, что приводит к постоянному развитию технологий и методик в области создания кремниевых детекторов. Поэтому трековые детекторы для новых экспериментальных установок требуют дополнительных исследований при их разработке.

Диссертация Харламова П. И. посвящена разработке трековых модулей для эксперимента VM@N, методике их тестирования и созданию экспериментальной установки для исследования трековых модулей с помощью лазерного излучения.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 130 страниц, 4 таблицы и 59 иллюстраций и 75 библиографических ссылок.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются цель и ставятся задачи, необходимые для ее решения, излагаются методология исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

Результаты диссертационной работы получены автором лично либо при его непосредственном участии. Разработана и изготовлена лазерная установка для тестирования модулей кремниевой трековой системы эксперимента $BM@N$, разработана методика тестирования модулей с помощью лазерного луча, проведено сравнение результатов, полученных на лазерной установке, с испытаниями модулей на электронных пучках ускорителя. Выполнены расчеты загрузок детекторов в эксперименте $BM@N$, которые позволили оптимизировать геометрию трековой системы.

В первой главе диссертации проведен ретроспективный обзор развития кремниевых трековых детекторов, их отличительных особенностей перед другими типами координатно-чувствительных детекторов, описаны трековые системы современных экспериментов физики высоких энергий и используемые в них кремниевые детекторы. Приведенный в этой главе материал показывает глубокое понимание автором темы диссертационной работы по разработке и созданию кремневых трековых детекторов, а также существующих технологий регистрации треков заряженных частиц.

Автором подробно рассматриваются трековые детекторы экспериментов $ATLAS@LHC$, $D0@FNAL$ и $CLAS12@CEBAF$. Каждая из этих систем обладает своими особенностями в соответствии с поставленными физическими задачами, поэтому конкретные реализации трековых систем значительно отличаются, в частности конструкцией кремниевых детекторов и системами съёма информации. С точки зрения данной диссертации, особенно интересен потоковый подход к системе считывания данных с кремниевых детекторов эксперимента $CLAS12$, преимущества которого хорошо согласуются с задачами эксперимента $BM@N$.

Вторая глава посвящена физическим задачам и проекту кремниевой трековой системы эксперимента $BM@N$, ее детекторным модулям, основанным на двухсторонних микроstriповых кремниевых сенсорах и самотриггеруемой считывающей электронике, тракту считывания и обработки данных. Физические задачи и условия эксперимента $BM@N$ требуют одновременного использования потового подхода к системе считывания информации с детекторов и двухсторонних сенсоров, что до этого времени массово в экспериментах не применялось. Это обосновывает актуальность и новизну задачи исследования и тестирования подобных систем. Приведенные автором расчеты нагрузок детекторов обладают практической значимостью, так как использовались для оптимизации геометрии трековой системы $BM@N$ и унификации детекторных модулей.

В третьей главе диссертации описываются испытания прототипов трековых модулей, систем считывания и синхронизации времени между модулями на пучках электронов ускорителя ЛИНАК-200. Полученные результаты обосновывают возможность и необходимость использования альтернативных методов тестирования трековых модулей. Экспериментальные результаты согласуются с проведенными автором расчетами соотношений амплитуд сигналов для электронов энергий 50 и 150 МэВ, что подтверждает методику тестирования и особенности взаимодействия релятивистских электронов с кремнием. Делается вывод, что из-за значительных потерь энергии электронов на тормозное излучение с ростом их энергии методика тестирования с использованием ускорителей электронов усложняется. Из-за этого возникает необходимость разработки более простой и надежной методики для массового тестирования кремниевых детекторов. В качестве её автор предлагает тестирование с помощью лазерного излучения.

В четвертой главе описывается созданная лазерная установка для тестирования трековых модулей, ее характеристики и функционал и приводятся результаты тестирований новых прототипов трековых модулей,

которые также использовались для отладки программного обеспечения считывающей электроники эксперимента VM@N. Лазерная установка спроектирована и собрана автором. Полученные результаты позволяют судить о корректности методики и позволяют утверждать, что для тестирования кремниевых трековых детекторов пучки электронов можно заменить на пучки лазерного излучения. Тестирование на лазерной установке обладает рядом преимуществ перед тестированием на пучке электронов – компактность установки, возможность широкой настройки параметров лазерного излучения (и, соответственно, получаемых сигналов), возможность более простой автоматизации измерений. Использование лазерных пучков для тестирования трековых модулей при их массовом производстве является экономически менее затратным способом. Разработанная и созданная автором лазерная установка применялась для тестирования трековых модулей эксперимента VM@N, отладки системы считывания, внесла вклад в разработку трековой системы, чем подтверждается её практическая значимость.

В целом, диссертация выполнена на хорошем уровне, вместе с тем в тексте имеются некоторые упущения – несмотря на утверждения о массовости тестирования, не приведена достаточная для этого статистика тестирования кремниевых трековых модулей.

Актуальность и новизна полученных результатов не вызывает сомнения. Результаты опубликованы, автореферат полностью отражает содержание диссертации. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем для создания систем тестирования кремниевых детекторов.

Диссертация не содержит серьезных смысловых погрешностей, написана хорошим языком и достаточно полно отражает содержание проделанной работы.

Диссертация Харламова Петра Ильича является законченным исследованием, выполнена на хорошем уровне и свидетельствует о высокой

квалификации автора. Защищаемые положения и выводы являются обоснованными.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Харламов Петр Ильич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.15 – «Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий».

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук
главный научный сотрудник НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ

 А.П. Воробьев

«01» ноября 2022 г.

Подпись А.П. Воробьева удостоверяю

Учёный секретарь НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ




Н.Н. Прокопенко

Александр Павлович Воробьёв

Доктор физико-математических наук

по специальности 01.04.23 – Физика высоких энергий.

Федеральное государственное бюджетное учреждение

Государственный научный центр Российской Федерации

Институт физики высоких энергий НИЦ «Курчатовский институт»,

главный научный сотрудник Отдела экспериментальной физики

142281, Московская область, г. Протвино, площадь Науки, дом 1

телефон: (4967) 713289

e-mail: vorobiev@ihep.ru