

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
**JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH**

Дубна, Московская область, Россия 141980 Dubna Moscow Region Russia 141980  
Telefax: (7-495) 632-78-80 Tel.: (7-49621) 65-059 AT: 205493 WOLNA RU E-mail: post@jinr.ru http://www.jinr.ru

\_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор Объединенного института  
ядерных исследований, академик РАН



*[Handwritten signature]*

В.А. Матвеев

01 ДЕК 2017

2017 г.

**ОТЗЫВ**

**ведущей организации на диссертацию Ахметшина Равеля Равиловича “Торцевой электромагнитный калориметр на основе кристаллов ВГО для детектора КМД-3”, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.**

Диссертационная работа Р.Р. Ахметшина посвящена разработке, созданию и эксплуатации торцевого электромагнитного калориметра детектора КМД-3 для экспериментов на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000.

**Актуальность темы исследования.**

С 2010 года в ИЯФ СО РАН начал работу электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-2000 с энергией от 320 МэВ до 2 ГэВ в системе центра масс. Криогенный магнитный детектор КМД-3 является одним из двух детекторов, работающих на коллайдере. Физическая программа экспериментов на коллайдере включает в себя прецизионные измерения полного сечения аннигиляции  $e^+e^-$  в адроны, прецизионные измерения масс, ширин и относительных вероятностей распада векторных мезонов и другие задачи. Многие из этих процессов содержат гамма-кванты в конечном состоянии, поэтому важной подсистемой детектора КМД-3 является электромагнитный калориметр, составной частью которого является торцевой калориметр. Торцевой калориметр позволяет существенно улучшить эффективность регистрации гамма-квантов, поскольку полный те-

лесный угол, покрываемый всеми калориметрами детектора КМД-3, составляет  $0,94 \times 4\pi$ , а доля торцевого калориметра в нём равна 30 %.

### **Новизна исследования**

Разработка и создание электромагнитного калориметра на основе кристаллов ВГО и полупроводниковых кремниевых фотодиодов выполнено впервые в России.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов подтверждается успешной работой торцевого электромагнитного калориметра в составе детектора КМД-3 с момента его запуска в 2010 году. Энергетическое и координатное разрешения калориметра хорошо совпадают с результатами, полученными с помощью моделирования методом Монте-Карло. Энергетическое разрешение составляет 8-3,5% для фотонов с энергией 100-1000 МэВ. Координатное разрешение для фотонов тех же энергий составляет 5-3 мм. Материалы диссертации обсуждались на международных научных конференциях, по ним опубликовано 5 научных работ в международных и российских журналах, входящих в рекомендуемый перечень ВАК.

### **Научная и практическая ценность**

Разработанная конструкция калориметра и предварительное тестирование модулей перед сборкой в детектор обеспечили надёжность и стабильность его работы. Процедура калибровки калориметра с использованием мюонов космического излучения позволяет определять калибровочные коэффициенты каналов торцевого калориметра с точностью около 1%. Также была разработана методика определения энергий и угловых координат  $\gamma$ -квантов, попавших в торцевой калориметр, и определены его энергетическое и координатное разрешения. Данные результаты имеют важное значение для проведения анализа данных, набранных детектором КМД-3, для физических процессов с участием  $\gamma$ -квантов в конечном состоянии. Опыт и методики, полученные при создании торцевого калориметра, могут быть использованы при создании новых калориметров для следующего поколения детекторов в физике высоких энергий.

### **Оценка содержания диссертации.**

Содержание и структура диссертации соответствуют заявленной специальности и цели исследования.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель и предмет исследования, а также описана структура диссертации. В **первой главе** приведено краткое описание ускорительно-накопительного комплекса ВЭПП-2000 и детектора КМД-3. Во **второй главе** дано общее описание торцевого калориметра. В этой главе описаны кристаллы, фотодиоды, электроника, конструкция калориметра в целом и система его температурной стабилизации. В **третьей главе** изложена методика проверки собранных блоков калориметра перед их постановкой в детектор, которая включает в себя несколько разновидностей измерений, а именно, генераторную калибровку, калибровку с использованием космических частиц и определение калибровочных ёмкостей с помощью ра-

диоактивного гамма-источника <sup>241</sup>Am. **Четвёртая глава** посвящена системе калибровки торцевого калориметра. Система калибровки служит для определения соответствия между выделившейся в кристалле энергии и величиной оцифрованного сигнала. Она используется для оперативного измерения параметров калориметра, настройки и проверки электронного тракта, выявления возможных неисправных каналов и диагностики причин выхода их из строя, контроля за стабильностью параметров калориметра. В **пятой главе** описана методика обработки информации с торцевого калориметра для определения энергий и координат фотонов, методика определения поправок к измеренным значениям энергии и полярного угла кластера, а также процедура определения энергетического и координатного разрешения калориметра.

В **заключении** приведены основные результаты работы, которые выносятся на защиту:

1. Разработан и изготовлен торцевой калориметр детектора КМД-3 на основе кристаллов ВГО с использованием в качестве фотоприёмников кремниевых PIN фотодиодов. Торцевой калориметр успешно отработал в составе детектора КМД-3 в течение 2010–2013 гг. Набранный детектором интеграл светимости составил около 60 пб<sup>-1</sup>.

2. Разработаны методики проверки качества составных элементов калориметра — кристаллов и фотодиодов. Перед сборкой блоков все компоненты протестированы на соответствие их параметров техническим требованиям.

3. Разработана методика проверки блоков с помощью космических частиц и протестированы блоки перед их установкой в детектор.

4. Разработана конструкция системы термостабилизации калориметра.

5. Определены энергетическое и координатное разрешение фотонов.

### **Соответствие автореферата диссертации её содержанию.**

Автореферат в целом достаточно полно отражает содержание диссертации. В автореферате обоснована актуальность темы, приведены цели работы, кратко изложено основное содержание работы, представлены результаты работы и список публикаций, содержащий основные результаты работы.

**Личное участие автора** в получении результатов, составляющих основу диссертации, является определяющим. Автор принимал участие в разработке и создании торцевого калориметра, сборке и тестировании модулей калориметра, установке блоков калориметра в детектор и вводе в эксплуатацию. Автор получил энергетическое и координатное разрешения калориметра для всего диапазона энергий коллайдера ВЭПП-2000.

### **Замечания по диссертации.**

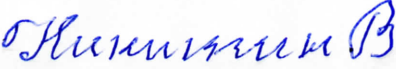
1. Программа исследований включает измерение электромагнитных форм-факторов нуклонов (стр. 6). Однако в списке процессов, подлежащих регистрации, нуклонов нет (стр. 5). Следовало бы указать реакцию с участием нуклонов, наблюдение которой позволяет измерять форм-факторы.

2. Схема дрейфовой камеры (стр. 15) не объясняет принцип её работы. Не показаны сигнальные и потенциальные проволоки, не показано направление дрейфового электрического поля и чем оно создаётся.

3. Имеются стилистические погрешности. Вместо жаргона «заряженный триггер» (стр. 5) следует писать «триггер на заряженную частицу». Совсем непонятно, что такое «пробежная система» (стр. 22). Это набор счётчиков для регистрации мюонов. О каком пробеге идёт речь? Во многих местах на одной странице (например, стр. 68) перемежается настоящее и прошедшее время глаголов. Но текст явно описывает события (действия), относящиеся к одному времени.

Диссертация Р.Р. Ахметшина на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи разработки и создания электромагнитного торцевого калориметра детектора КМД-3, имеющей существенное значение для экспериментов в области физики высоких энергий. Это соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв рассмотрен и утверждён на Научно-техническом совете Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ, 28 ноября 2017 года, Протокол № 7.

Отзыв подготовил:   
ведущий научный сотрудник Лаборатории физики высоких энергий ОИЯИ  
доктор физ. мат. наук Никитин Владимир Алексеевич.

Электронный адрес: [nikitin@sunse.jinr.ru](mailto:nikitin@sunse.jinr.ru)

Учёный секретарь ОИЯИ  
доктор физ. мат. наук Сорин Александр Савельевич.  
Электронный адрес: [sorin@jinr.ru](mailto:sorin@jinr.ru)

