

ОТЗЫВ

официального оппонента А.А. Соколова на диссертацию

Равеля Равиловича Ахметшина на тему

“Торцевой электромагнитный калориметр на основе кристаллов

BGO для детектора КМД-3”

**по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной
физики, представленную на соискание учёной степени кандидата**

физико-математических наук

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 работает электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-2000 с энергией от 320 МэВ до 2 ГэВ в системе центра масс.

На коллайдере имеются два места встречи пучков, в одном из которых установлен Криогенный магнитный детектор КМД-3. Это универсальный детектор, способный измерять параметры как заряженных частиц, так и гамма-квантов. Для регистрации гамма-квантов используется электромагнитный калориметр, состоящий из нескольких подсистем: цилиндрического калориметра на основе кристаллов CsI, цилиндрического калориметра на основе жидкого ксенона и торцевого калориметра на основе кристаллов BGO. Физическая программа детектора включает в себя прецизионные измерения полного сечения аннигиляции e^+e^- в адроны в области энергий до 2 ГэВ, прецизионные измерения масс, ширины и относительных вероятностей распада некоторых векторных мезонов, измерение электромагнитных формфакторов нуклонов вблизи порога их

рождения и другие задачи. Многие из изучаемых процессов содержат два или более гамма-кванта в конечном состоянии, поэтому важно, чтобы калориметры покрывали телесный угол, близкий к 4π . Полный телесный угол, покрываемый всеми калориметрами детектора КМД-3, составляет $0,94 \times 4\pi$, доля торцевого калориметра в нём равна 30 %. Поэтому использование торцевого калориметра позволяет существенно улучшить эффективность регистрации гамма-квантов.

Новизна исследования

Впервые в России разработан и создан электромагнитный калориметр на основе кристаллов BGO с использованием в качестве фотоприёмников полупроводниковых кремниевых PIN фотодиодов. Для этого калориметра впервые в России разработана и изготовлена система температурной стабилизации, интегрированная в систему крепления калориметра в детектор, которая позволяет поддерживать температуру калориметра с точностью лучше 1°C . Использование системы термостабилизации обеспечивает существенное улучшение отношения сигнал/фон, что даёт выигрыш в энергетическом разрешении калориметра, особенно при низких энергиях фотонов.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается успешным функционированием торцевого электромагнитного калориметра в составе детектора КМД-3 в течение его работы в 2010-2013 гг. Энергетическое и координатное разрешение калориметра с хорошей точностью совпадает с результатами, полученными с помощью моделирования методом Монте-Карло. Энергетическое разрешение фотонов с энергией 100-1000 МэВ составляет 8-3,5%. Координатное разрешение фотонов тех же энергий составляет 5-3 мм. Материалы диссертации обсуждались на международных научных конференциях, на их основе опубликовано 5 научных работ в международных и российских журналах, входящих в перечень, рекомендуемый ВАК.

Научная и практическая ценность

Разработанная конструкция калориметра и предварительное тестирование его модулей перед сборкой в детектор обеспечили надёжность и стабильность работы калориметра. Процедура калибровки калориметра с использованием мюонов космического излучения позволила определять калибровочные коэффициенты каналов торцевого калориметра с точностью около 1%. Была разработана методика измерения энергий и углов вылета γ -квантов, зарегистрированных в торцевом калориметре, определено его энергетическое и угловое разрешение. Полученные результаты имеют важное значение для анализа данных, набранных детектором КМД-3, для исследования физических процессов с участием γ -квантов в конечном состоянии. Полученный опыт и методики, разработанные при создании торцевого калориметра, могут быть использованы при создании электромагнитных калориметров для следующего поколения детекторов в физике высоких энергий.

Оценка содержания диссертации

Диссертация является завершённой работой. Ее содержание и структура 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, перечислены их основные параметры и подсистемы.

Во **второй главе** дано общее описание торцевого калориметра. В этой главе приведены параметры его составных частей, а именно, кристаллов BGO и полупроводниковых фотодиодов, перечислены их достоинства и недостатки. Описаны методики тестирования этих параметров перед сборкой

калориметра. Описана конструкция блоков, из которых собирался торцевой калориметр. Приведено описание конструкции калориметра в целом, включая интегрированную в неё систему термостабилизации.

В третьей главе изложена методика проверки собранных блоков калориметра перед их установкой в детектор, которая включала в себя несколько разновидностей измерений, а именно, генераторную калибровку, калибровку с использованием космических частиц и определение калибровочных ёмкостей с помощью радиоактивного гамма-источника ^{241}Am .

Четвёртая глава посвящена системе калибровки торцевого калориметра в детекторе. Система калибровки служит для определения соответствия между выделившейся в кристалле энергии и величиной оцифрованного сигнала. Также эта система 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 измерения энергий и углов вылета фотонов, методика определения поправок к измеренным значениям энергии и полярного угла электромагнитного кластера, а также процедура определения энергетического и углового разрешения калориметра.

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

1. Разработан и изготовлен торцевой калориметр детектора КМД-3 на основе кристаллов BGO 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^{-1} .

2. Разработаны методики проверки качества составных элементов калориметра — кристаллов и фотодиодов. Перед сборкой блоков все

компоненты были протестированы на соответствие их параметров техническим требованиям.

3. Разработана методика проверки собранных блоков с помощью энергоснабжения от космических частиц, было проведено тестирование всех блоков перед их установкой в детектор.

4. Разработана конструкция системы термостабилизации торцевого калориметра, интегрированная в систему подвески калориметра в детекторе.

5. Определено энергетическое и угловое разрешение фотонов, зарегистрированных в торцевом калориметре.

Соответствие автореферата диссертации её содержанию

Автореферат 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 непосредственное участие в разработке и создании торцевого калориметра, сборке и тестировании модулей калориметра перед его установкой в детектор, установке блоков торцевого калориметра в детектор и вводе его в эксплуатацию. Им было получено энергетическое и угловое разрешение торцевого калориметра для всего диапазона энергий коллайдера ВЭПП-2000.

Замечания по диссертации:

1. На Рис. 2.20 приведена зависимость показаний четырёх температурных датчиков от времени, иллюстрирующая долговременную стабильность поддержания температуры торцевого калориметра, но не указано местоположение этих датчиков. В тексте не описано распределение температуры по всему полю калориметра, в частности, не указано,

существует ли градиент температуры вдоль радиуса калориметра, какова его величина.

2. При описании стенда для предварительной проверки блоков торцевого калориметра, схема которого показана на Рис. 3.1, в тексте указано, что "Ключи позволяют подключать к входу сумматора любую последовательную пару сигналов: 1-2, 3-4 и т.д.", но при этом не объясняются цели и смысл подключения различных пар сигналов.
3. В 4-й главе описываются два метода калибровки калориметра по космическим частицам, которые различаются используемым для набора событий триггером, однако в тексте не указано, результаты какой из этих двух типов калибровок используются в дальнейшей обработке при вычислении энергии гамма-квантов.

Заключение

Отмеченные недостатки не влияют на качество исследования, а также на общую положительную оценку диссертационной работы. Диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты. Результаты диссертации, имеющие большую практическую ценность, могут быть использованы при создании калориметров для следующего поколения детекторов в физике высоких энергий.

Рассмотренная диссертация является законченной научно-исследовательской работой и характеризуется высоким научным уровнем. Работы, вошедшие в диссертацию, опубликованы в рецензируемых научных изданиях и являются достоверными и оригинальными.

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. Считаю, что диссертационная работа отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики.

Официальный оппонент,

Соколов Анатолий Александрович,

доктор физико-математических наук

по специальности 01.04.23 - физика высоких энергий

142281, Московская область, город Протвино, площадь Науки, дом 1,

тел. (4967) 71-35- 28,

адрес электронной почты: sokolov_a@ihep.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение

«Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова

Научного исследовательского центра «Курчатовский институт»,

ведущий научный сотрудник отделения экспериментальной физики.

«14» ноября 2017

 А.А. Соколов

Подпись Соколов Анатолия Александровича заверяю

Ученый секретарь

НИЦ "Курчатовский институт" - ИФВЭ





Н.Н.Прокопенко