

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУН Институт ядерных
исследований РАН

профессор, доктор технических наук

Л.В. Кравчук

« 23 »

мая



ОТЗЫВ

ведущей организации

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт
ядерных исследований Российской академии наук**

на диссертацию ШЕБАЛИНА Василия Евгеньевича

**“Реконструкция фотонов и энергетическая калибровка цилиндрического
калориметра детектора КМД-3”,**

представленную на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и
методы экспериментальной физики

Диссертация В.Е.Шабалина посвящена разработке алгоритмов реконструкции кинематических параметров фотонов и процедур энергетической калибровки цилиндрического электромагнитного калориметра детектора КМД-3, состоящего из двух частей: калориметра на основе жидкого ксенона и кристаллического CsI калориметра. Основной задачей калориметра КМД-3 является регистрация фотонов, вылетающих под большими углами к оси пучков и измерение их энергии и координат. Для проведения прецизионных экспериментов, калориметр должен обладать высоким энергетическим и пространственным разрешением.

Актуальность и новизна исследования не вызывает сомнений, поскольку является составной частью экспериментов на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000, и точная калибровка калориметра необходима для решения фундаментальных физических задач, в ряду которых можно упомянуть прецизионное измерение полного сечения электрон-позитронной аннигиляции в адроны, изучение свойств легких векторных мезонов и др. Задача калибровки комбинированного электромагнитного калориметра, состоящего из двух различных детекторов, решена в этой работе впервые. Результаты, полученные в этой работе, используются в анализе экспериментальных данных, набранных с детектором КМД-3, для изучения большинства физических процессов.

Во **введении** диссертации обсуждается актуальность работы и формулируется предмет исследования, новизна и практическая значимость работы, а также подробно изложены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** диссертации приводится описание ускорительного комплекса ВЭПП-2000 и детектора КМД-3. Рассмотрены основные подсистемы детектора: дрейфовая камера, пропорциональная Z-камера, торцевой электромагнитный калориметр на основе кристаллов ВGO, LXe и CsI калориметры. Также описана система сбора данных, программы накопления и анализа данных, программы моделирования физических процессов.

Вторая глава посвящена описанию цилиндрического калориметра детектора КМД-3. Дано подробное описание его подсистем: калориметра на основе жидкого ксенона и калориметра на основе кристаллов CsI, считывающей электроники и программного обеспечения. Подробно изложена конструкция калориметра на основе жидкого Хе, изложены принципы работы и его технические характеристики. Затем описан CsI калориметр, состоящий из кристаллов CsI(Tl) и CsI(Na). Детально описан индивидуальный счетчик, показаны полученные световыходы счетчиков. Большое внимание уделено электронике калориметра. Представлена процедура реконструкции кластеров в калориметре.

В **третьей главе** представлена процедура энергетической калибровки цилиндрического калориметра с помощью космических частиц. Процедура включает в себя предварительную калибровку CsI калориметра с использованием данных только этой подсистемы и совместную калибровку жидкоксенонового и CsI калориметров с использованием космических частиц в экспериментальных заходах. Для калибровки используются космические мюоны, а также события от e^+e^- рассеяния. Подробно описывается предварительная калибровка CsI калориметра с помощью космики, а затем совместная калибровка LXe и CsI калориметров. Представлены результаты калибровки, показана стабильность сигнала от космических частиц в зависимости от времени измерений. Основным преимуществом жидкоксенонового калориметра в отношении точной калибровки является возможность восстановления траектории движения заряженной частицы, что позволяет существенно уточнить результаты калибровки с использованием космических частиц. При этом существенно уменьшается вклад в систематическую погрешность определения калибровочных коэффициентов от неточности описания импульсных и угловых распределений космических частиц.

В **четвертой главе** изложена процедура калибровки калориметра с использованием событий электрон-позитронного рассеяния. Показаны критерии, при которых производится отбор событий, описывается алгоритм калибровки. Калибровка осуществлялась при энергии пучков 300 МэВ. Точность калибровки составила около 1%. Получено разрешение калориметра 4-5% при энергии 800-900 МэВ.

Пятая глава диссертации посвящена процедурам восстановления кинематических параметров фотонов. Представленная процедура восстановления начальной энергии фотонов не ухудшает энергетического разрешения. Пространственное разрешение определения точки конверсии фотона в электрон-позитронную пару составило около 2 мм. Представлена проверка правильности реконструкции фотонов на основе процессов $e^+e^- \rightarrow Z\mu$ и $e^+e^- \rightarrow Z\gamma$. Разрешение калориметра по инвариантной массе нейтрального пиона составило около 11 МэВ.

В **заключении** перечислены основные результаты диссертации. За три года набора экспериментальных данных с детектором КМД-3 (с 2010 по 2013 год) калориметр на основе кристаллов CsI продемонстрировал хорошие параметры. Были разработаны процедуры мониторинга работоспособности и стабильности каналов калориметра. Стабильность отклика электроники калориметра была не хуже 1%. Разработаны процедуры совместной калибровки жидкоксеронового и CsI калориметров с помощью космических частиц и с использованием событий упругого электрон-позитронного рассеяния. Погрешность определения калибровочных коэффициентов составила величину $\leq 1.5\%$ для жидкоксеронового калориметра и не хуже 3% для CsI калориметра. Разработаны процедуры реконструкции фотонов и восстановления их кинематических параметров.

В работе встречается ряд **недостатков**.

1. В главе 3, в которой описывается калибровка калориметра с помощью космических частиц, не указано, какие именно частицы используются – вероятно, это космические мюоны.

2. На стр. 61 выражение «Калибровка CsI калориметра проводится с помощью космических частиц в заходах с использованием данных только от CsI калориметра» использует термин «заходы», который явно нуждается в определении.

3. Формула (3.3) на стр. 63 непонятна. Как можно получить окончательные значения коэффициентов из произведения (3.3)?

4. На рисунке 5.16 (стр.114) приведено распределение по инвариантной массе двух фотонов. На левом рисунке «обрезана» часть спектра с пиком нейтрального пиона. Было бы правильно привести оба спектра для одинакового интервала инвариантных масс от 0 до примерно 700 МэВ.

5. В диссертации указывается, что набор данных проводился с 2010 по 2013 гг. (стр.115). Это довольно длительный период времени и поэтому представляется, что в диссертации могли бы быть представлены данные о параметрах калориметра в зависимости от времени. Как например, меняется световой выход кристаллов CsI и BGO на протяжении 3-х лет?

6. Представляется, что было бы важно показать временные параметры калориметра. В частности, временное разрешение в зависимости от энергии фотонов. Такие данные были бы очень интересны, учитывая комбинированную структуру LXe/CsI калориметра.

Однако отмеченные выше недостатки ни в коей мере не снижают ценность диссертации В.Е. Шебалина. Им были получены очень интересные и качественные методические результаты, **достоверность** которых не вызывает сомнения. Разработанные В.Е. Шебалиным процедуры энергетической калибровки цилиндрического калориметра обеспечивают точность определения калибровочных коэффициентов на уровне 1.5 % для жидкоксеронового и около 3 % для CsI калориметра детектора КМД-3. Надежность результатов подтверждается тем, что результаты калибровок разного типа хорошо согласуются между собой. Правильность измерения энергии в калориметре контролируется с помощью космических частиц, с использованием процесса упругого электрон-позитронного рассеяния и процесса электрон-позитронной аннигиляции в пару фотонов и с помощью других физических процессов. **Достоверность** процедуры восстановления кинематических параметров фотонов в цилиндрическом калориметре была проверена с помощью процессов электрон-позитронной аннигиляции в два фотона, а также в таких процессах как $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, $e^+e^- \rightarrow \pi^0\gamma$, $e^+e^- \rightarrow \eta\gamma$. Основные результаты диссертации опубликованы в реферируемых журналах, соответствующих списку ВАК РФ, и докладывались на российских и международных конференциях, на научных семинарах ИЯФ СО РАН, Сессии секции ядерной физики ОФН РАН. Диссертация аккуратно

оформлена, качество рисунков и таблиц хорошее. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация В.Е. Шебалина на тему “Реконструкция фотонов и энергетическая калибровка цилиндрического калориметра детектора КМД-3”, представленная на соискание ученой степени кандидата физико–математических наук, соответствует всем требованиям ВАК, а ее автор Василий Евгеньевич Шебалин заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 - приборы и методы экспериментальной физики.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании Ученого совета Института ядерных исследований РАН 23 мая 2016 г., протокол № 3

Отзыв составили:

Заведующий Отделом физики высоких энергий

Институт ядерных исследований Российской академии наук

Профессор, доктор физ.-мат. наук

Куденко Юрий Григорьевич

kudenko@inr.ru

Учёный секретарь Института ядерных исследований Российской академии наук

Кандидат физ.-мат. наук

Селидовкин Андрей Дмитриевич

ss@inr.ac.ru

Отзыв заверяется

117312, Москва В-312, проспект 60-летия октября, 7а

Федеральное государственное учреждение науки “Институт ядерных исследований Российской академии наук”

Тел: +7(499) 135-77-60 Факс: +7 (495) 132-22-68

Электронный адрес: inr@inr.ru