

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук

А.В. Гуськова на диссертацию В.Е. Шебалина

**“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**

Актуальность исследования

С 2010 года в Институте Ядерной Физики имени Г.И.Будкера проводятся эксперименты на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 в диапазоне энергий от 320 МэВ до 2 ГэВ в системе центра масс. Обширная физическая программа экспериментов включает в себя прецизионное измерение полного сечения электрон-позитронной аннигиляции в адроны, изучение свойств легких векторных мезонов и другие задачи.

Коллайдер имеет две точки пересечения пучков, в одной из которых установлен детектор КМД-3. Поскольку физическая программа экспериментов включает в себя изучение процессов, содержащих нейтральные пионы и фотоны в конечных состояниях, важной частью детектора является электромагнитный калориметр. Цилиндрический калориметр детектора КМД-3 имеет комбинированную структуру: он состоит из калориметра на основе сжиженного ксенона и кристаллического CsI калориметра. Его основной задачей 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.

Диссертационная работа В.Е. Шебалина посвящена разработке процедуры реконструкции кинематических параметров фотонов и процедуры энергетической калибровки цилиндрического калориметра детектора КМД-3. 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. Процедура энергетической калибровки цилиндрического калориметра состоит из трех выполняемых последовательно калибровок: предварительная калибровка CsI калориметра с помощью космических частиц в специальных заходах, совместная калибровка LXe и CsI калориметров с космическими частицами в экспериментальных заходах и калибровка калориметра с использованием процесса упругого электрон-позитронного рассеяния.

Основные результаты работы докладывались автором на научных семинарах ИЯФ СО РАН, сессии отделения ядерной физики РАН и международных конференциях.

Достоверность исследования

Разработанные процедуры энергетической калибровки цилиндрического калориметра обеспечивают точность определения калибровочных коэффициентов на уровне 1.5 % для жидкоксенонового и около 3 % для CsI калориметра детектора КМД-3.

Правильность определения калибровочных коэффициентов подтверждается тем, что результаты калибровок разного типа (с использованием различных частиц) согласуются между собой. Кроме того были проведены проверки правильности измерения энергии в калориметре с помощью космических частиц, 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 пару фотонов, а также в таких процессах как $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$, $e^+e^- \rightarrow \pi^0\gamma$, $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$.

Также о достоверности исследования и высокой степени обоснованности научных результатов, сформулированных в диссертации свидетельствует подробное описание проведенных экспериментов и публикация результатов в ведущих рецензируемых научных журналах.

Научная новизна работы

Задача калибровки комбинированного электромагнитного калориметра, состоящего из подсистем с различным принципом работы, решалась впервые. Вследствие его сложной структуры, энергетическая калибровка составного калориметра является сложной и нетривиальной задачей. Важным преимуществом жидкоксенонового калориметра является возможность восстановления траектории движения заряженной частицы, что дает дополнительные возможности для проведения точной калибровки калориметра с использованием космических частиц. Благодаря разработанным процедурам калибровок калориметра и восстановления параметров фотонов было достигнуто близкое к проектным значениям энергетическое и пространственное разрешение. Результаты данной работы используются в анализе большинства физических процессов, проводимых с детектором КМД-3.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** описывается актуальность работы и формулируется предмет исследования, а также новизна и практическая значимость работы.

В **первой главе** приводится описание ускорительного комплекса ВЭПП-2000 и детектора КМД-3.

Вторая глава посвящена описанию цилиндрического калориметра детектора КМД-3. Дано подробное описание его подсистем: жидкоксенонового калориметра и калориметра на основе кристаллов CsI, считывающей электроники и программного обеспечения.

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 жидкоксеронового и CsI калориметров с использованием космических частиц в экспериментальных заходах.

В четвертой главе дано описание процедуры калибровки калориметра с использованием событий электрон-позитронного рассеяния.

Пятая глава 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 $e^+e^- \rightarrow 3\pi$ и $e^+e^- \rightarrow 3\gamma$. 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 мониторингирования работоспособности и стабильности каналов калориметра. Стабильность отклика электроники калориметра составила 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 не хуже 1.5% для жидкоксеронового калориметра и не хуже 3% для CsI калориметра. Разработаны процедуры реконструкции фотонов и восстановления их кинематических параметров.

Замеченные недостатки.

Представленная диссертация не лишена некоторых недостатков. Текст диссертации не достаточно хорошо структурирован и выверен.

Так, например, на страницах 36, 42, 111 упомянут триггер (нейтральный и заряженный), но сколь-либо детальное описание триггерной системы установки в тексте диссертации отсутствует.

Рисунок 3.1 (справа), показывающий долю энергии, выделившейся в CsI для электронов и фотонов, не достаточно подробно объяснён. Без дополнительных пояснений остаётся неясным, является ли разница энергосделений просто следствием того, что ливень от гамма-кванта начинает развиваться в среднем на одну радиационную длину глубже, или же значительный вклад вносит также и разница в кинематике реакций $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ и $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$.

Кажется несколько натянутым вывод, сделанный на стр. 90 о том, что экспериментально измеренное разрешение близко к результатам моделирования. Из Рис. 4.9 видно, что квадратичная разница между кривыми достаточно велика. Эта разница, по видимому, обусловлена тем, что эффекты, связанные с откликом электроники и светосбором в моделировании были заложены весьма схематично.

Текст диссертации содержит некоторое количество досадных опечаток. Энергия линии цезия на стр. 26 указана как 622 кэВ вместо 662 кэВ. Формула 3.5 содержит явную опечатку в знаке.

Тем не менее, данные замечания не вносят принципиальных изменений в выносимые автором на защиту положения и выводы.

Автореферат диссертации оформлен в полном соответствии с требованиями ВАК, полностью отражает содержание диссертации и содержит необходимые формулировки цели и задач исследований, выносимых на защиту.

Подводя итоги, можно с уверенностью сказать, что диссертация В.Е. Шебалина представляет собой законченное научное исследование – научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задач, важных для методики физического эксперимента в области физики высоких энергий.

Основные результаты диссертации опубликованы в научных изданиях, соответствующих списку ВАК РФ и докладывались на российских и международных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, которые предъявляет ВАК РФ к кандидатским диссертациям, 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.

Официальный оппонент, к. ф.-м. н. начальник сектора 2 научно-исследовательского отдела встречных пучков Лаборатории ядерных проблем Объединённого института ядерных исследований

А.В.Гуськов

Адрес: 141980, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри 6
Тел.: (+7-49621) 65-059 Факс: (+7-495) 632-78-80
e-mail: avg@jinr.ru

Подпись А.В. Гуськова заверяю
Учёный секретарь ЛЯП ОИЯИ
Кандидат физ.-мат. наук

И. В. Титкова

24.05.2016

