

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

доктора физико-математических наук Чаповского Павла Львовича  
на диссертацию **Каминского Вячеслава Викторовича «Комптоновская калибровка**  
**системы регистрации рассеянных электронов детектора КЕДР»**,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.20 – физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
в диссертационный совет Д 003.016.03 на базе  
ФБГУН Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

### **Актуальность избранной темы**

Коллайдеры являются ключевыми экспериментальными установками современной физики элементарных частиц. Электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-4М и детектор КЕДР Института ядерной физики СО РАН – уникальный научный комплекс. На нем планируется выполнение ряда важных экспериментов, в том числе, исследование процессов двухфотонного рождения адронов и лептонов. Успех этих исследований в существенной степени зависит от точности измерения энергии рассеянных электронов и позитронов с помощью двухплечевого фокусирующего магнитного спектрометра – системы регистрации рассеянных электронов (РЭ) – входящего в систему ВЭПП-4М–КЕДР.

Диссертация В.В. Каминского посвящена актуальной задаче – прецизионной калибровке энергетической шкалы магнитного спектрометра для рассеянных частиц с помощью обратного комптоновского рассеяния лазерного излучения на релятивистских пучках электронов и позитронов.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научные положения, выводы и рекомендации диссертации В.В.Каминского являются хорошо обоснованными. Это подтверждается успешным представлением этих результатов на конференциях, семинарах и публикациями в ведущих журналах по физике ускорителей элементарных частиц.

Наиболее ответственную проверку результаты диссертации В.В.Каминского прошли на самом комплексе ВЭПП-4М, поскольку используются в работе большой и сложной экспериментальной установки.

### **Достоверность и научная новизна полученных результатов**

Достоверность результатов работы В.В.Каминского подтверждается использованием современных экспериментальных методик, теоретическими расчетами и детальным сопоставлением теоретических и экспериментальных результатов.

Достоверность результатов диссертации также подтверждается и тем, что работа выполнена в научном коллективе ИЯФ СО РАН, известном своими высокими требованиями к качеству экспериментальных и теоретических работ.

В диссертации получен ряд новых результатов.

Впервые на коллайдере ВЭПП-4М зарегистрировано обратное комптоновское рассеяние лазерного излучения как на электронном, так и на позитронном пучке.

Созданы лазерно-оптические установки для обратного комптоновского рассеяния на релятивистских пучках электронов и позитронов коллайдера ВЭПП-4М. В установках

использованы импульсные неодимовые лазеры с диодной накачкой, Nd:YAG и Nd:YLF, первые и вторые гармоники основной частоты.

Осуществлена калибровка BGO калориметров и энергетической шкалы системы регистрации рассеянных электронов с использованием обратного комптоновского рассеяния и однократного тормозного излучения на коллайдере ВЭПП-4М.

Создана система управления и программное обеспечение для автоматизации калибровки магнитного спектрометра.

Создана математическая модель траекторий электронов и позитронов в системе регистрации рассеянных электронов. Модель позволяет связать значения токов в магнитных элементах коллайдера, измерение положений электронного и позитронного пучков и равновесную энергию пучка с траекториями рассеянных частиц в широком диапазоне энергий. Модель корректно описывает относительные изменения энергетической шкалы спектрометра. Абсолютная калибровка шкалы осуществляется экспериментально при работе коллайдера в специальном режиме, а далее модель позволяет корректировать энергетическую шкалу спектрометра во время выполнения физических экспериментов на встречных пучках.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов**

Создана и введена в эксплуатацию установка для комптоновской калибровки системы регистрации рассеянных электронов детектора КЕДР. Созданная система позволит выполнять прецизионные эксперименты по двухфотонной физике на коллайдере ВЭПП-4М и детекторе КЕДР.

Созданные в диссертации лазерно-оптическая система, автоматическая система управления и моделирование пучков заряженных частиц могут быть применены на будущих коллайдерах: супер с-т фабрике в ИЯФ СО РАН, FCC-ее в CERN и CEPC в Китае, в экспериментах, связанных с обратным комптоновским рассеянием.

### **Оценка содержания диссертации и её завершенность**

Объем диссертации составляет 125 страниц, она содержит 46 рисунков, 5 таблиц и список цитированной литературы из 61 наименования.

**Введение.** Сформулированы цель работы, ее научная новизна, научная и практическая значимость, личный вклад автора, аprobация работы, и приведены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

**Первая глава.** Дан краткий обзор характеристик двухфотонных процессов, рассеяния лазерного излучения на пучках релятивистских электронов/позитронов и однократного тормозного излучения. Приведено краткое описание коллайдера ВЭПП-4М и детектора КЕДР.

**Вторая глава.** Дано описание конструкции и приведены характеристики системы регистрации рассеянных электронов детектора КЕДР. Этот спектрометр регистрирует электроны и позитроны с энергией  $(0.39 - 0.98) E_0$  ( $E_0$  – энергия частиц в накопителе) с разрешением 0.05% – 1 % от энергии пучка. Рассмотрена модель простейшего фокусирующего магнитного спектрометра и с её помощью выведены основные свойства фокусирующего спектрометра любой конфигурации.

**Третья глава.** Создана модель системы регистрации рассеянных электронов, для чего решено несколько задач: расчёт движения электронов или позитронов с очень большим энергетическим разбросом; моделирование рассеяния электронов и позитронов в разных физических процессах; определение орбиты пучка на любом азимуте ускорителя

при известной магнитной структуре с помощью данных с двух датчиков положения пучка. Показано хорошее согласие результатов моделирования и эксперимента. Рассчитано энергетическое разрешение спектрометра.

**Четвертая глава.** Приведена история установки для проведения комптоновского рассеяния, ранее реализованной на ВЭПП-4М и обоснована необходимость создания новой. Обоснован выбор лазеров для данного эксперимента. Дано достаточно подробное описание лазерно-оптической системы, фактически, представляющая собой две отдельные установки. Описана система управления установкой и комплект программного обеспечения, позволяющие проводить комптоновскую калибровку спектрометра автоматически, практически без вмешательства оператора.

**Приложение** содержит технические сведения о структуре экспериментального промежутка коллагайдера ВЭПП-4М.

В целом, диссертация В.В. Каминского представляет собой законченное научное исследование, посвященное актуальной и важной теме, развитию экспериментальных методик для экспериментов на встречных электрон-позитронных пучках.

**Личный вклад** В.В.Каминского в получении представленных в диссертации результатов является определяющим.

#### **Соответствие автореферата основному содержанию диссертации**

Автореферат оформлен в соответствии с требованиями ВАК и достаточно полно отражает содержание диссертации.

#### **Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации**

Диссертация написана в хорошем научном стиле и практически без грамматических ошибок. Среди наиболее важных научных результатов диссертационной работы я хочу отметить следующее.

Создание автоматизированной лазерно-оптической системы для регистрации обратного комптоновского рассеяния лазерного излучения нескольких длин волн и использование этой системы для калибровки энергетической шкалы двойного магнитного спектрометра рассеянных электронов и позитронов коллагайдера ВЭПП-4М.

Не менее важным мне представляется создание в диссертации В.В.Каминского математической модели магнитной системы спектрометра рассеянных электронов и позитронов. Созданные им методы лежат в основе коррекции энергетической шкалы двухплечевого спектрометра в промежутках времени между экспериментальными калибровками.

У меня имеется одно замечание по диссертационной работе В.В.Каминского. Из диссертации можно заключить, что созданная лазерно-оптическая система оказалась весьма сложной. Система имеет много дистанционно управляемых оптических элементов в двух далеко разнесенных помещениях. Одно из этих помещений находится в ускорительном зале и недоступно для персонала во время работы ускорителя. В тоже время в диссертации не представлен анализ альтернативных оптических схем регистрации обратного комптоновского рассеяния. Можно представить несколько возможных схем, каждая со своими преимуществами и недостатками. Все лазеры можно расположить в одном месте вне ускорительного зала и доставлять излучение световодами. Можно также использовать один лазерный комплекс, разделив излучение на два световых пучка для рассеяния на электронах и позитронах и доставлять излучение световодами. По-

видимому, можно даже использовать один лазерный комплекс, один световой пучок (например, для электронов) и сферическое отражающее зеркало, возвращающее излучение для получения комптоновского рассеяния на позитронах.

Отмеченный недостаток не снижает высокой оценки представленной диссертационной работы. Важно, что созданная в диссертации лазерная система регистрации обратного комптоновского рассеяния успешно работает в экспериментах на ВЭПП-4М.

### **Заключение**

Диссертационная работа В.В.Каминского является законченным научным исследованием, в котором получено решение важной научной задачи, калибровки энергетической шкалы магнитного спектрометра электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-4М.

Работа В.В.Каминского полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, установленным в п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года, № 842, а автор диссертационной работы, Вячеслав Викторович Каминский, несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент Чаповский Павел Львович, доктор физ.-мат наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника, в том числе квантовая; главный научный сотрудник ФГБУН Института автоматики и электрометрии СО РАН; 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 1; тел. +7 913-204-1792, (+7 383) 330-64-09; chapovsky@iae.nsk.su

П.Л. Чаповский

05.12.17

Подпись П.Л. Чаповского заверяю,  
И.о. ученого секретаря ИАиЭ СО РАН

к.ф.-м.н. Е.И. Донцова

