

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 720.001.01
НА БАЗЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26.10.2016 № 87

О присуждении Зыкунову Владимиру Александровичу, гражданину Республики Беларусь, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Эффекты радиационных поправок в современных экспериментах в физике высоких энергий» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика принята к защите 23.03.2016, протокол № 80 диссертационным советом Д 720.001.01 на базе Объединенного института ядерных исследований, международная межправительственная организация, 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д.6, приказ Рособнадзора о создании совета № 1484-1047 от 11.07.2008; полномочия совета подтверждены приказом Минобрнауки РФ № 105/НК от 11.04.2012.

Соискатель **Зыкунов Владимир Александрович** 1968 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Электрослабые поправки к наблюдаемым величинам в поляризационном глубоконеупругом лептон-нуклонном рассеянии» защитил в 1998 году, в диссертационном совете Д 01.05.02, созданном на базе Института физики Национальной Академии Наук Беларуси, Республика Беларусь, 220072, г. Минск, пр. Независимости, д. 70; работает в должности доцента на кафедре «Физика и химия» в Учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта», ведомственная принадлежность – Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.

Диссертация выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель, ведомственная принадлежность – Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор **Шумейко Николай Максимович**, Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета, г. Минск, начальник Центра физики частиц и высоких энергий.

Официальные оппоненты:

Калиновская Лидия Владимировна, доктор физико-математических наук, без звания, Объединенный институт ядерных исследований, начальник сектора №1 Научно-экспериментального отдела встречных пучков Лаборатории ядерных проблем;

Катаев Андрей Львович, доктор физико-математических наук, без звания, Институт ядерных исследований Российской Академии наук, ведущий научный сотрудник;

Кувшинов Вячеслав Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси, заведующий лабораторией проблем ядерной физики и безопасности

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Панасюком Михаилом Игоревичем (доктор физико-математических наук, профессор, НИИЯФ МГУ, директор) и Боосом Эдуардом Эрнстовичем

(доктор физико-математических наук, профессор, НИИЯФ МГУ, заведующий отделом), утвержденном Федяниным Андреем Анатольевичем (доктор физико-математических наук, профессор, МГУ им. М.В. Ломоносова, проректор) указала, что *«Целью работы является обеспечение ряда современных экспериментов в физике высоких энергий надежным и обеспечивающим необходимую точность учетом радиационных эффектов. <...> диссертация Зыкунова Владимира Александровича «Эффекты радиационных поправок в современных экспериментах в физике высоких энергий» <...> является законченным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. <...> Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Зыкунов Владимир Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.»*

Соискатель имеет 61 опубликованную работу по теме диссертации, из которых 29 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Общий объем опубликованных материалов составляет 66,0 авторских листов. Основная часть положений, выносимых на защиту, опубликована в 13 статьях, написанных автором без соавторов. Наиболее значимые 10 публикаций перечислены ниже с нумерацией согласно списку, приведенному в диссертации:

[7-А] Электрослабые радиационные эффекты в поляризованном мёллеровском рассеянии / В.А. Зыкунов // ЯФ. – 2004. – Т. 67. – С. 1366–1379.

[10-А] Радиационные поправки к процессу Дрелла–Яна при больших инвариантных массах дилептонной пары / В.А. Зыкунов // ЯФ. – 2006. – Т. 69. – С. 1557–1571.

[13-A] Weak radiative corrections to Drell–Yan process for large invariant mass of di-lepton pair / V.A. Zykunov // *Phys. Rev. D.* – 2007. – Vol. 75, 073019, P. 1–11.

[14-A] Полный расчет электрослабых поправок к процессу Дрелла–Яна для коллайдера LHC / В.А. Зыкунов // *ЯФ.* – 2008. – Т. 71. – С. 757–770.

[15-A] Полный расчет электрослабых поправок для поляризационного мёллеровского рассеяния при высоких энергиях / В.А. Зыкунов // *ЯФ.* – 2009. – Т. 72. – С. 1540–1554.

[20-A] Electroweak radiative corrections for polarized Moller scattering at future 11 GeV JLab experiment / A. Aleksejevs, S. Barkanova, A. Plyichev, V. Zykunov // *Phys. Rev. D* – 2010. – Vol. 82, 093013, P. 1–16.

[22-A] Вклад инверсного глюонного излучения в КХД-поправки к процессу Дрелла–Яна для экспериментов на LHC / В.А. Зыкунов // *ЯФ.* – 2011. – Т. 74. – С. 72–84.

[24-A] Прецизионный расчет наблюдаемых поляризационного мёллеровского рассеяния: от энергии JLab до ILC / А.Г. Алексеев, С.Г. Барканова, В.А. Зыкунов // *ЯФ.* – 2012. – Т. 75. – С. 231–248.

[25-A] Quadratic electroweak corrections for polarized Moller scattering / A. Aleksejevs, S. Barkanova, Y. Kolomensky, E. Kuraev, V. Zykunov // *Phys. Rev. D* – 2012. – Vol. 85, 013007.

[30-A] Оценка двухпетлевых радиационных эффектов в эксперименте MOLLER // А.Г. Алексеев, С.Г. Барканова, В.А. Зыкунов, Э.А. Кураев // *ЯФ.* – 2013. – Т. 76. – С. 942–954.

В работах [1-A]–[4-A], [8-A], [16-A], [17-A], [23-A], [30-A], [34-A] автору принадлежат полная реализация расчета, соавторы работали с текстом и проверкой. В прочих работах вклад автора диссертации также значим: в [9-A], [20-A], [24-A], [25-A], [27-A]–[29-A], [33-A] автором проделан расчет

асимптотическими методами и численный анализ, в [12-A] автор обеспечил построение кода MERADGEN всеми аналитическими выражениями и построил гистограммы, в [19-A] и [26-A] проводил независимую проверку вычислений. Автором кода FeynArts/FormCalc для расчета однопетлевых электрослабых поправок в процессе мёллеровского рассеяния, который использовался в работах [20-A], [23-A]–[25-A], [27-A], [29-A], является А.Г. Алексеевс (A.G. Aleksejevs).

На диссертационную работу поступил дополнительный отрицательный отзыв от Александра Альбертовича Панкова доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого (г. Гомель, Республика Беларусь). В первой части отзыва А.А. Панков соглашается с тем, что *«диссертационная работа соискателя Зыкунова В.А. <...> представляется, безусловно, актуальной задачей»*. Во второй части отзыва А.А. Панков поднимает вопрос связанный *«с используемой в диссертации параметризацией электромагнитного тока»*. В формулах (1)-(5) А.А. Панков приводит параметризацию, которую считает единственно верной, и, сравнивая формулу автора, которую он приводит под номером (6), указывает, что она имеет в правой части знак, отличный от, как он считает «верной» формулы (4). Из несовпадения этого знака А.А. Панков делает вывод: *«параметризация фермионных констант связи, принятая в диссертации <...> содержит ошибку – она не согласуется со Стандартной моделью»*. Действительно, в диссертации В.А. Зыкунова использована параметризация правил Фейнмана, не являющаяся наиболее распространенной. Диссертант пользуется правилами из хорошо известного специалистам обзора: *M. Bohm, H. Spiesberger, W. Hollik «On the 1-loop renormalization of the electroweak standard model and its application to leptonic processes» Forsch. Phys. -1986. - Vol. 34. - P. 687-751*. Отличие знаков в некоторых вершинах взаимодействий в данном наборе правил Фейнмана от тех, на которые ссылается А.А. Панков, обусловлено

наличием произвола в процедуре вывода правил Фейнмана из лагранжиана стандартной модели. Наличие этого произвола хорошо известно специалистам, оно подробно обсуждено в работе [J.C. Romao, J.P. Silva «A resource for signs and Feynman diagrams of the Standard Model» *Int. J. Mod. Phys. A*27 (2012) 1230025]. При этом все результаты для наблюдаемых величин получаются безусловно одинаковыми. Это подтверждено также многочисленными аналитическими и численными сравнениями результатов диссертации с аналогичными вычислениями проведенными с использованием других наборов правил Фейнмана. Поэтому диссертационный совет не посчитал критические замечания, содержащиеся в дополнительном отзыве А.А. Панкова, обоснованными.

Отзывы официальных оппонентов и ведущей организации положительные, но содержат следующие основные замечания, не снижающие общей высокой оценки научного уровня диссертации.

- В отзыве Л.В. Калиновской в качестве замечания указано, что *«авторскому стилю присущи некоторая фрагментарность изложения, а также использование жаргона <...>. Также, возможно, вынесение некоторых технических подробностей в приложения упростило бы изложение материала. Представляется излишним приложение со справочными формулами <...> свойств дилогарифма Спенса. Однако отмеченные небольшие недостатки не меняют общей положительной оценки представленной работы».*

- В отзыве А.Л. Катаева сказано: *«Из-за перегруженности деталями, диссертация читается очень тяжело. Однако удается понять, что существенная ее часть базируется на 13 статьях, написанных автором единолично, что, безусловно, говорит о его высокой квалификации».*

- В отзыве В.И. Кувшинова замечаний нет.

- В положительном отзыве ведущей организации приведены замечания, которые *«не умаляют достоинства работы, высокой оценки ее качества и сделанных*

выводов». Приведем их: «1. Во второй главе не уделено достаточного внимания описанию деталей отличия перенормировочных схем Холлика и Деннера <...>. 2. Автор активно вводит собственную терминологию, хотя в ряде случаев возможно использование стандартных терминов. 3. В главах 5 и 6, к сожалению, проводится анализ только с т.н. "bare" setup, не учитывающем возможности детектирования частиц (т.н. "calo" setup). 4. В главе 6 не обсуждается влияние выбора факторизационного масштаба на величину КХД-поправок. 5. Желательно было бы вынесение в приложение некоторых разделов, представляющих отдельный интерес <...>. 6. Текст диссертации содержит некоторое количество стилистических ошибок, что несколько затрудняет чтение». В дискуссии автор признал справедливость критики по всем пунктам и устно отметил причины, вызвавшие эти вопросы и то, как планируется улучшить эти моменты в последующих публикациях.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что все оппоненты являются видными специалистами в области теоретической физики, а ведущая организация – одним из лидирующих научно-исследовательских институтов в области теоретической физики. Это подтверждается многочисленными публикациями в журналах из списка ВАК и индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, а также высоким индексом цитируемости их работ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Разработан новый асимптотический метод получения компактных, удобных для анализа и быстрой оценки электрослабых поправок, обусловленных вкладами различных типов, обеспечивающий требуемую точность в области высоких энергий.

- Предложена оригинальная методика сложения различных радиационных

вкладов в поляризационную асимметрию, наблюдаемую в экспериментах типа MOLLER (JLab), позволяющая контролировать точность учета радиационных эффектов.

- Доказана перспективность использования вышеприведенных методов в пертурбативных расчетах в физике высоких энергий.

- В ведущем логарифмическом приближении получены новые аналитические формулы для жесткого тормозного излучения фотонов, глюонов и инверсного глюонного излучения в процессе Дрелла-Яна и жесткого тормозного излучения фотонов в мёллеровском рассеянии.

- Разработана процедура прецизионного учета полных однопетлевых и лидирующих двухпетлевых электрослабых радиационных эффектов к наблюдаемой поляризационной асимметрии мёллеровского рассеяния для современных экспериментов: E-158 (SLAC), MOLLER (JLab) и для планируемых экспериментов на ILC, реализованная в виде компьютерной программы gcAPV.

- Разработана процедура прецизионного учета однопетлевых электрослабых и КХД радиационных эффектов в процессе Дрелла-Яна при больших инвариантных массах лептонной пары для экспериментов на Большом адронном коллайдере с учетом экспериментальных условий установки CMS с последовательным использованием трижды дифференциальных сечений, дающих возможность корректировать экспериментальные данные в любой кинематической точке и области, реализованная в виде компьютерной программы READY.

Теоретическая значимость диссертации обоснована тем, что

- доказана эффективность предложенных новых методик расчетов вкладов радиационных эффектов в наблюдаемые величины,

- эти методики (в совокупности с имеющимися базовыми методами исследования, а именно, с пертурбативными методами расчетов в квантовой

теории поля) были использованы применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов),

- данные методики подробно изложены в тексте диссертации и могут быть применены для широкого класса современных и будущих экспериментов физики высоких энергий.

Значение полученных соискателем результатов для практики определяется тем, что:

- разработана программа прецизионного учета полных однопетлевых и лидирующих двухпетлевых электрослабых радиационных поправок к наблюдаемой поляризационной асимметрии мёллеровского рассеяния ($rcAPV$) для современных экспериментов: E-158 (SLAC), MOLLER (JLab) и для планируемых экспериментов на ILC. Проведен подробный численный анализ, который показывает значительный масштаб полученных эффектов. Исследована зависимость радиационных эффектов от экспериментальных ограничений.

- Рассчитаны двухпетлевые электрослабые радиационные поправки: квадрат однопетлевых вкладов и вклад, образующий калибровочно-инвариантный набор двухпетлевых вершинных диаграмм и бозонных собственных энергий, к наблюдаемой поляризационной асимметрии мёллеровского рассеяния для эксперимента MOLLER. Выработана новая эффективная методика сложения различных вкладов в наблюдаемую поляризационную асимметрию от одно- и двухпетлевых радиационных эффектов, которая позволяет контролировать точность учета радиационных эффектов.

- Разработана программа быстрой и точной оценки однопетлевых электрослабых и КХД радиационных эффектов в процессе Дрелла-Яна при больших инвариантных массах лептонной пары (READY) для экспериментов на Большом адронном коллайдере с учетом экспериментальных условий установки

CMS. Произведено полное описание возможностей программы READY, приведены все формулы для вкладов в сечения и для кинематических ограничений. Численный анализ, осуществленный с помощью READY, показывает значительный масштаб радиационных эффектов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

достоверность результатов не вызывает сомнения и подтверждается многочисленными тестами и, там, где это возможно, сравнением с существующими результатами расчетов других групп. Результаты получены с использованием хорошо известных проверенных методов квантовой теории поля. Показана независимость полученных результатов от ренормализационных условий в рамках схемы перенормировки на массовой поверхности. Достигнуто согласие результатов для однопетлевых поправок, а также для двухпетлевого вклада, обусловленного квадратом однопетлевых диаграмм, полученных независимо с применением аналитических методов в компактной форме, удобной для анализа, и альтернативно, с использованием компьютерных кодов FeynArts, FormCalc и LoopTools.

Личный вклад соискателя является определяющим, он состоит в непосредственном участии на всех этапах получения и трактовки результатов, изложенных в диссертационной работе; в определяющем участии при проведении аналитических расчетов; в подготовке основных публикаций по выполненной работе; в личном участии в апробации результатов исследования на научных мероприятиях.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается возможностью рассматривать ее как важный шаг в применении методов теоретической физики в современных и будущих экспериментах физики высоких энергий.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве

18 человек, из них 12 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 17, против 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель

дисс

Воронов Виктор Васильевич

Учен

диссер

Арбузов Андрей Борисович

2