

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

ВАСИЛЕВСКОЙ Дарьи Сергеевны

«Проверка Стандартной модели в прецизионных экспериментах при низких энергиях»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по
специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц.

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа Василевской Дарьи Сергеевны посвящена определению возможностей расширения Стандартной модели (СМ) физики элементарных частиц через подключение процессов, идущих с нарушением закона сохранения лептонного квантового числа: распадов нейтрального бозона Хиггса и Z-бозона и безнейтринной конверсии мюона в электрон. Результаты представленного в диссертации анализа данных по прецизионному измерению сечения процесса электрон-позитронной аннигиляции с образованием трех пионов в конечном состоянии в области энергий омега-мезона с детектором КМД-3 на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2000 позволят улучшить точность расчета аномального магнитного момента мюона в рамках СМ.

Содержание диссертационной работы Д.С. Василевской, ее положения и выводы соответствуют пунктам 2 и 8 раздела III паспорта специальности «01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц» и отрасли физико-математических наук.

2. Актуальность темы диссертации

СМ позволяет с хорошей точностью описать большинство полученных в физике элементарных частиц экспериментальных данных. В то же время, достаточно активно ведутся эксперименты по поиску физических явлений, выходящих за рамки СМ, поскольку ее пока нельзя считать полностью завершенной теорией. Некоторые эксперименты указывают, что СМ неполна на фундаментальном уровне, поэтому для решения этих проблем предлагается целый ряд ее расширений. Теории, выходящие за рамки СМ, называют физикой за пределами Стандартной модели, или Новой физикой. Имеющиеся экспериментальные данные пока не позволяют сделать выбор в пользу какого-либо варианта таких теорий.

В связи с этим, одним из весьма актуальных направлений исследований в физике элементарных частиц является экспериментальный поиск явлений и процессов, которые не могут быть описаны в рамках СМ. Часть экспериментов осуществляется при

относительно низких энергиях (несколько ГэВ), но с весьма высокой точностью измерений для поиска сильно подавленных или запрещенных в рамках СМ явлений.

Измерение аномального магнитного момента мюона представляет собой один из примеров таких экспериментов. В вышедшей в октябре 2023 года статье [Measurement of the Positive Muon Anomalous Magnetic Moment to 0.20 ppm // Phys. Rev. Lett. 131, 161802 (2023)] опубликованы последние результаты эксперимента Muon $g-2$ по измерению аномального магнитного момента мюона, проводимого в Лаборатории Fermilab (США). Члены коллаборации «The Muon $g-2$ Collaboration» с гордостью заявляют о достижении точности измерений в 0.20 ppm и анонсируют дальнейшее удвоение точности. В диссертации Д.С. Василевской представлены результаты прецизионного измерения сечения процесса e^+e^- аннигиляции с образованием трех пионов в конечном состоянии детектором КМД-3 (РФ). Данный процесс занимает второе место по вкладу в ошибку расчета адронного вклада в аномальный магнитный момент мюона, так что диссертация, несомненно, посвящена актуальной теме. Если удастся подтвердить различие экспериментального и расчетного значения аномального магнитного момента мюона, то этот факт будет сильным знаком наличия Новой физики.

Также, перспективны поиски Новой физики через исследование свойств процессов, происходящих с нарушением закона сохранения лептонного квантового числа в заряженном секторе СМ. Наиболее обещающим здесь видится поиск отклонений от предсказаний СМ в мюонных распадах. Участие Д.С. Василевской в работах по реконструкции событий для эксперимента COMET (COherent Muon Electron Transition) на ускорительном комплексе J-PARC (Япония) позволяет исследовать важные проблемы современной физики элементарных частиц, что также делает тематику ее диссертации актуальной.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

В качестве новых результатов, полученных в диссертации, на которых основаны положения, выносимые на защиту, можно выделить следующие:

- Результат расчета парциальной ширины распада бозона Хиггса на положительный мюон и отрицательный тау-лептон, идущего с нарушением лептонного квантового числа в рамках лево-правой симметричной модели, показавший, что теоретическое значение не менее чем на два порядка меньше чувствительности текущих экспериментов;

- Результат расчета ширины распада Z -бозона на мюон и тау-лептон, идущего с нарушением лептонного квантового числа в рамках лево-правой симметричной модели, показавший, что теоретическое значение на несколько порядков меньше чувствительности текущих экспериментов;
 - Установление ограничений на кинематические переменные для выделения событий процесса электрон-позитронной аннигиляции с образованием трёх пионов в конечном состоянии, позволившие значительно уменьшить уровень физического, космического и пучкового фона ускорителя и получение на их основе предварительных значений для сечения изучаемого процесса в диапазоне энергий 660-980 МэВ в системе центра масс с детектором КМД-3.
- Все указанные результаты являются новыми и оригинальными.

4. Обоснование и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью постановки задач, использованием современных методов исследований, непротиворечивостью полученных результатов.

Надежность выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием современных физических, статистических и аналитических методов, а также грамотным анализом экспериментальных результатов со сравнением их результатов с результатами, опубликованными в международной научной периодике. Для анализа экспериментальных данных детектора КМД-3 установлено хорошее согласие с результатами исследований, представленными в литературе.

Результаты работы прошли необходимую апробацию на международных и республиканских конференциях, опубликованы в авторитетных научных журналах, включённых в перечень ВАК, а также в иностранных научных изданиях.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Полученные результаты могут найти применение при подготовке экспериментов по измерению характеристик элементарных частиц и поиску эффектов Новой физики.

Эти результаты могут служить основой для дальнейших исследований, в том числе, проводимых в ГНУ «Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси», Белорусском государственном университете, Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН и других научных и учебных учреждениях.

Полученные результаты могут быть использованы для реализации научных исследований в рамках научных программ, реализуемых в Республике Беларусь; при создании учебных программ для студентов, обучающихся по программам подготовки специалистов в области ядерной физики и физики частиц.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертации опубликованы в семи научных работах, изданных в рецензируемых журналах в соответствии с требованиями пункта 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь. Объем опубликованного материала 7,22 авторского листа. Результаты работы апробированы на пяти международных конференциях, опубликованы пять материалов докладов.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертационная работа и ее автореферат оформлены, в целом, в соответствии с требованиями «Инструкции о порядке оформления диссертации, диссертации в виде научного доклада, автореферата диссертации и публикаций по теме диссертации» (Постановление ВАК Республики Беларусь 28.02.2014 №3 (в редакции постановления ВАК Республики Беларусь 22.08.2022 № 5).

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

В тексте диссертации приведены ссылки с указанием авторов и источников, приведены ссылки на собственные публикации автора, в которых содержатся излагаемые в диссертации материалы.

8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Содержание диссертационной работы Василевской Д.С. отражает личный вклад автора в опубликованные научные материалы. На основании анализа содержания диссертации, автореферата и опубликованных работ по теме диссертации можно заключить, что ее автор является сложившимся квалифицированным ученым, получившим новые результаты в теоретической и экспериментальной физике элементарных частиц. Научная квалификация Василевской Д.С. соответствует квалификации искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 - физика атомного ядра и элементарных частиц.

9. Замечания по диссертации

- Название диссертации сформулировано слишком широко и претенциозно – «Проверка Стандартной модели...»;
- По тексту применяется много избыточных запятых;
- На нескольких графиках, например Рис. 3.3, 3.5, 4.10, не обозначены оси координат. На рис. 3.6 шкала ординат обозначена в %, хотя она представлена в относительных величинах;
- Имеются стилевые погрешности, элементы разговорного стиля и жаргона (напр. «Большой электрон-позитронный коллайдер безуспешно искал распад Z-бозона с нарушением лептонного числа...», стр. 40; «...с точки зрения рисунка 1.2...», стр. 19; «...предлагается использовать распределение по параметру хи-квадрат, полученное при аппроксимации сигналов стандартной формой...», стр. 51-52 и т.п.);
- Перечень условных обозначений напечатан со сдвигом левой и правой частей (стр. 4);
- Заимствованный из [31] рисунок 1.4 отсутствует в этой публикации;
- В Главе 3 не изложена процедура идентификации событий «по параметру хи-квадрат». Из текста неясно, что такое «параметр хи-квадрат», откуда он получается, почему он считается параметром, каков диапазон его численных значений?

Вместе с тем, вышеуказанные замечания все же не снижают научной ценности представленной работы. В целом, диссертационная работа Василевской Д.С. выполнена на современном научном уровне и представляет собой законченное исследование, полученные результаты представляются научно обоснованными.

10. Выводы

Диссертационная работа Д.С. Василевской «Проверка Стандартной модели в прецизионных экспериментах при низких энергиях» является самостоятельно выполненной квалификационной научной работой и отвечает требованиям, установленным в Главе 3 «Положения о присуждении ученых степеней и о присвоении ученых званий» (Указ Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 № 560 (в редакции Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 № 190).

В диссертации содержатся новые научно обоснованные результаты, признанные международным научным сообществом, и имеющие актуальное значение для физики элементарных частиц. Отличительной особенностью диссертации является представление

в ней научных результатов как из теоретической, так и из экспериментальной физики элементарных частиц.

Рекомендую присудить Василевской Дарье Сергеевне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц за следующие научные результаты:

- за результат расчета в третьем порядке теории возмущения парциальной ширины распада бозона Хиггса по каналу $S_1 \rightarrow \mu^+ \tau^-$;

- за результат расчета ширины распада Z_1 бозона на пару мюон и тау-лептон в рамках лево-правой симметричной модели, которая оказывается отличной от нуля только при наличии нейтринных смешиваний и отсутствие вырождения масс в секторе тяжелых нейтрино;

- за измерение борновского сечения процесса электрон-позитронной аннигиляции с образованием трёх пионов в конечном состоянии в широком диапазоне энергий и с большой статистикой в области энергий ω -мезона на детекторе КМД-3 (коллайдер ВЭПП-2000).

Я, Лобко Александр Сергеевич, даю согласие на публикацию данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте Института физики НАН Беларуси.

Официальный оппонент,

Заместитель директора по научной работе

НИУ «Институт ядерных проблем» БГУ

доктор физико-математических наук, доцент

«27» февраля 2024 г.



А.С. Лобко

Подпись А.С. Лобко заверяю

Начальник Отдела кадров



М.П. Шушкевич