

ОТЗЫВ

официального оппонента Афонина Сергея Сергеевича на диссертацию Калашникова Дмитрия “Коллайдерные эксперименты как окно в новую физику: предсказания для лёгких частиц”, представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – “Теоретическая физика”.

Диссертационная работа Д. Калашникова посвящена рассмотрению перспектив обнаружения частиц новой физики в диапазоне масс от 10 МэВ до 5 ГэВ на коллайдерных экспериментах FASER, SCTF и NICAMPD. В работе рассматривались различные модели новой физики: суперсимметричные расширения Стандартной Модели (СМ) с лёгкими сголдстино, модели с темным фотоном, миллизаряженные частицы, аксионоподобные частицы и Z' -бозон с различным взаимодействием с левыми и правыми фермионными токами СМ. В диссертации предложены различные сигнатуры поиска новых частиц в рассмотренных моделях, проведена оценка фона и представлены области параметров модели, к которым будут чувствительны эксперименты.

Актуальность и значимость исследований подтверждается тем, что задача обнаружения новой физики является основным мотивом запуска многих новых экспериментов. А оценка ожидаемых сигналов от новой физики позволяет определить область параметров модели, которую можно исследовать.

Практическая значимость заключается в определении областей параметров моделей, к которым чувствительны современные коллайдерные эксперименты. Результаты работы могут способствовать развитию исследований в моделях с такими параметрами, т.к. в обозримом будущем их можно проверить экспериментально. Даже в случае отрицательных результатов работа позволяет уточнить или исключить определённые теоретические модели, что представляет собой важный вклад в развитие физики элементарных частиц.

Диссертация Д. Калашникова состоит из введения, 3-х глав, заключения и списка литературы. Общий объём диссертации составляет 131 страниц, включая 61 рисунок и 4 таблицы. Список литературы содержит 121 наименование.

Во введении представлен краткий обзор состояния исследований в области новой физики, сформулированы задачи исследования, обоснована актуальность работы.

В первой главе рассмотрена феноменология модели суперсимметричного расширения СМ с лёгкими сголдстино на экспериментах FASER-I и FASER-II на LHC. Автор начинает рассмотрение с эффективного лагранжиана, описывающего взаимодействие лёгких скалярных и псевдоскалярных сголдстино с частицами СМ. Далее представлены формулы для различных мод распада: в лептоны, барионы и фотоны, а также приведены оценки темпов рождения сголдстино в распадах мезонов, происходящего напрямую в столкновениях протонов и через эффект Примакова. Затем представлены результаты расчётов в виде областей параметров модели, к которым будет чувствителен FASER. В работе отдельно рассматриваются все каналы и моды распады. Также отдельно рассматриваются две области масс сголдстино: меньше порога рождения мезонов и больше этого порога. В конце главы обсуждаются результаты и перспективы экспериментов FASER-I и FASER-II.

Вторая глава посвящена проектам SCTF и STCF – электрон-позитронным коллайдерам в России и Китае. Рассмотрены различные модели скрытого сектора: тёмный

фотон, миллизаряженные частицы, Z' -бозон, аксионоподобные частицы. Для поисков автор выбрал сигнатуру с недостающей энергией и сигнальной частицей – фотоном. В первом разделе оценивается фон для данной сигнатуры, и приводятся кинематические ограничения на параметры сигнальной частицы, которые позволят уменьшить влияние фона и улучшить чувствительность проекта к новой физике. Автором также отдельно рассматривается возможность прямых поисков миллизаряженных частиц, основанном на том, что при рождении на пороге своей массы частицы будут иметь малую скорость и могут быть замечены в детекторе. В такой сигнатуре рассмотрены два режима работы эксперимента. В первом набирается большая статистика в нескольких точках по энергии пучков, во втором статистика набирается сканированием по энергии с малым шагом. В главе представлены результаты расчета и области параметров модели, к которым будет чувствителен эксперимент.

В третьей главе предложен способ поиска новой физики на эксперименте NICA MPD в Дубне, основанный на сигнатуре со смещённой вершиной. В такой сигнатуре частица новой физики, рождаясь в распадах короткоживущих мезонов, пролетает макроскопическое расстояние в детекторе перед распадом. Сигнал с наличием такой смещённой вершины используется автором для установления ограничений на параметры модели. Рассмотрены модели с тёмным фотоном и аксионоподобной частицей. Показано, что перспективы NICA в поиске новой физики превосходят текущие ограничения на модели.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

По представленной работе можно сделать следующие **замечания**.

1) Из текста диссертации сложно оценить уровень понимания соискателем многочисленных выписанных формул. На мой взгляд, текст написан скорее в стиле журнальной статьи, а не квалификационной работы, по которой можно было бы судить о глубине понимания и широте знаний диссертантом тематики его исследований. Теоретическая часть изложена крайне лаконично, с чем связаны следующие ниже замечания.

2) Прежде всего, совершенно не обсуждаются технические подробности происхождения лагранжиана (1), на котором основан весь последующий анализ.

3) Не приведён вывод ни одной формулы для ширины распада – в диссертации было бы естественно показать вывод хотя бы наиболее важных ширин, что можно было бы вынести в приложения. Данная же диссертация не содержит вообще ни одного приложения.

4) В связи с предыдущим замечанием: например, мне не очевидно, что параметр B_0 в формулах (1.8) и (1.9) (а также в двух скобках формулы (1.13)) — это один и тот же B_0 , определённый из формулы Гелл-Манна—Оакеса-Реннера для массы каона. А именно, на первый взгляд кажется, что в (1.8) нужно подставлять значение B_0 , определённое из аналогичной формулы для массы пиона. На мой взгляд, имело бы смысл вообще не вводить параметр B_0 , а прямо подставлять в соответствующие формулы его выражение через массу каона и массы кварков — тогда стало бы сразу понятным, что выражения, содержащие массы токовых кварков, не зависят от масштаба нормировки этих масс и выбора схемы их регуляризации, поскольку в формулы входили бы только отношения линейных комбинаций масс кварков. Иначе может возникнуть вопрос: почему в данном анализе для масс кварков подставляются значения на масштабе 2 ГэВ в схеме минимальных вычитаний (как приведено в Particle Data Group)?

Отмеченные недостатки имеют довольно субъективный характер и не меняют в целом **положительной оценки** диссертационной работы Д. Калашникова. Видно, что проделан огромный труд по анализу чувствительности обсуждаемых в работе экспериментов к различным моделям новой физики. Полученный опыт может быть весьма востребован для аналогичного анализа других экспериментов, что делает диссертанта ценным специалистом в данной актуальной области исследований. Диссертация выполнена на высоком научном уровне и отвечает требованиям ВАК. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.3. Теоретическая физика. Результаты, полученные автором, являются новыми, так как чувствительность рассматриваемых экспериментов к данным моделям была исследована впервые. Достоверность и обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, не вызывают сомнений, поскольку в работе использовались хорошо известные методы квантовой теории поля, а полученные выражения для сечений и ширин распадов воспроизводят результаты, известные для других экспериментов и моделей. Достоверность, обоснованность и новизна результатов также подтверждаются их успешной апробацией в виде докладов на международных и российских конференциях и семинарах. Всего по теме диссертации опубликовано 5 работ, все в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК. **Автореферат правильно и полно отражает** содержание диссертации.

Диссертация Д. Калашникова «Коллайдерные эксперименты как окно в новую физику: предсказания для лёгких частиц», удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – Теоретическая физика.

07.08.2025

Официальный оппонент

Доктор физ.-мат. наук, профессор

Кафедры физики высоких энергий и элементарных частиц

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный университет»

С.С. Афонин

s.afonin@spbu.ru,

+79111394723

199034, Санкт-Петербург,

Университетская наб., д. 7–9

«Санкт-Петербургский
государственный университет»

Подпись С.С. Афолина заверяю:

И.о. начальника отдела кадров № 3

08.08.2025

И.И. Константинова

Сведения об официальном оппоненте

Афонин Сергей Сергеевич

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, тел. +79111394723, адрес электронной почты: s.afonin@spbu.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра физики высоких энергий и элементарных частиц, профессор.

Список основных публикаций по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. S.S. Afonin, “A second Higgs near 0.5 TeV from bottom-up holographic modeling of beyond the Standard Model strong sector”, Physics Letters, Section B: Nuclear, Elementary Particle and High-Energy Physics, Том 840, 137882, 01.05.2023.
2. S.S. Afonin, “W-Boson Mass Anomaly as a Manifestation of Spontaneously Broken Additional SU(2) Global Symmetry on a New Fundamental Scale”, Universe, Том 8, № 12, 627, 28.11.2022.
3. S.S. Afonin, “Ultraviolet regularization of energy of two static sources in the bottom-up holographic approach to strong interactions”, Theoretical and Mathematical Physics, Том 216, № 3, 01.09.2023, стр. 1278-1286.
4. S.S. Afonin, T.D. Solomko, “The case of equivalence of low and high energy constraints on Regge vector spectrum in AdS/QCD”, Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, Том 48, № 6, 065003, 06.2021.
5. S.S. Afonin, T.D. Solomko, “Low and High Energy Constraints in AdS/QCD Models”, Physics of Particles and Nuclei, Том 53, № 2, 01.04.2022, стр. 387–392.
6. S.S. Afonin, T.D. Solomko, “Towards a theory of bottom-up holographic models for linear Regge trajectories of light mesons”, European Physical Journal C, Том 82, № 3, 195, 01.03.2022.