

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н., Компанийца М.В. на диссертацию Пикельнера Андрея Федоровича "Ренормгрупповые величины Стандартной модели в высших порядках теории возмущений", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Диссертация Пикельнера А.Ф. посвящена теоретическому исследованию Стандартной Модели элементарных частиц, а именно, трех-петлевому расчету ренормгрупповых функций Стандартной модели, нахождению связи бегущих констант Стандартной модели с параметрами, извлекаемыми из эксперимента, и анализу стабильности вакуума Стандартной Модели.

Автором обоснованно была выбрана полная Стандартная Модель элементарных частиц, как логичное продолжение уже известных результатов в КХД и теории с Юкавским взаимодействием. Результат расчета в полной теории подтвердил, что электрослабые константы на масштабе энергий порядка массы Планка оказываются сравнимыми по величине с Юкавскими константами и константой самодействия бозона Хиггса. Таким образом, учет соответствующих вкладов необходим для прецизионного исследования границ стабильности Стандартной Модели.

Актуальность тематики в значительной мере обусловлена открытием Бозона Хиггса на Большом адронном коллайдере (БАК) и измерением его массы. Задача получения уравнений эволюции для констант связи и соотношений, связывающих их с наблюдаемыми величинами, является одной из наиболее актуальных задач в теоретическом исследовании Стандартной Модели, которая не могла быть завершена без экспериментального определения значения константы самодействия бозона Хиггса. Измерение массы бозона Хиггса на БАК позволило извлечь значение этой константы - последней недостающей части для прецизионного анализа Стандартной Модели.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, двух приложений и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 86 страниц.



Во Введении отмечены цели исследования, актуальность работы, научная и практическая ценность, научная новизна, приведены список конференций, на которых состоялась апробация полученных результатов, список публикаций автора, а также сформулированы положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** содержит введение в проблематику многопетлевых вычислений, обзор существующих результатов для различных теорий, таких как КХД, КЭД, скалярная  $\phi^4$  модель,  $N=4$  SYM и стандартная модель. Обсуждаются детали и специфика многопетлевых расчетов для этих теорий.

**Вторая глава** посвящена описанию техник расчета ренормализационных констант, использовавшихся в работе. Необходимо отметить, что ввиду большого объема и сложности вычислений, в работе используется большое количество различных современных техник вычисления констант ренормировки, таких как  $R'$  операция, инфракрасное преобразование, метод интегрирования по частям и сведение интегралов к массивным вакуумным петлям.

**В третьей главе** обсуждаются соотношения между параметрами Стандартной модели, вычисленными в разных схемах перенормировки. Эти соотношения необходимы для задания граничных условий ренормгрупповых уравнений, полученных в схеме минимальных вычитаний. Обсуждается техника вычисления собственно-энергетических диаграмм с различными массами в пропагаторах, которая будет использована в следующей главе для расчетов двухпетлевых электрослабых поправок в соотношения между наблюдаемым массами частиц и параметрами в схеме минимальных вычитаний.

**В четвертой главе** техника, изложенная в главах 2 и 3, применяется к анализу Стандартной модели, обсуждаются детали перенормировки в калибровке фонового поля, обобщение на недиагональные Юкавские матрицы, а также различные детали трехпетлевых расчетов. Получены выражения для бета-функций Стандартной модели в третьем порядке теории возмущений. Приведены результаты сделанных впервые расчетов двухпетлевых электрослабых поправок в соотношения между наблюдаемым массами частиц и параметрами в схеме минимальных вычитаний. Важным моментом вычисления является его явная независимость от параметров, фиксирующих калибровку, которая возникает благодаря учету диаграмм типа "головастик". Найдена явная зависимость начальных условий для уравнений



эволюции от наблюдаемых параметров с учетом всех известных двухпетлевых вкладов. С помощью разработанной автором программы проведен численный анализ стабильности вакуума Стандартной модели. Найдена граница абсолютной стабильности и показано, что наблюдаемые значения масс топ кварка и бозона Хиггса лежат в области метастабильности. Однако, с учетом известных экспериментальных неопределенностей, абсолютная стабильность не исключена на уровне двух стандартных отклонений.

Результаты, составляющие диссертационное исследование, были получены впервые. Новизна результатов подтверждается их публикацией в высокорейтинговых научных журналах.

Достоверность результатов следует из используемых в диссертации хорошо апробированных методов теоретической физики: применение теории возмущения к Стандартной Модели в области высоких энергий, использование размерной регуляризации и схемы минимальных вычитаний, хорошо известных методов редукции и вычисления безмассовых интегралов пропагаторного типа и полностью массивных интегралов вакуумного типа.

Практическая и научная значимость диссертационного исследования состоит в том, что оно позволяет повысить точность изучения поведения Стандартной Модели элементарных частиц в области сверх-высоких энергий. Применение полученных результатов в численных расчетах позволят существенно уменьшить теоретическую неопределенность, что является важным в условиях, когда в существующих экспериментах уменьшается величина экспериментальной ошибки для начальных данных.

Работа написана ясно и последовательно, однако впечатление несколько портит большое количество опечаток и некоторая небрежность в формулировках. Дополнительно из недостатков следует отметить:

1. В главе 1, (стр 12) на рисунке 1.3 изображена диаграмма поляризации вакуума и последующее инфракрасное преобразование для нее, из данного рисунка можно ошибочно предположить, что вклад от одной из фермионных линий исчезает после инфракрасного преобразования.
2. Глава 1 (стр 15) в разделе 1.2.3. отсутствует часть ссылок по 5 петлевым расчетам в модели  $\phi^4$ , а именно работа К.Г. Четыркина, А.Л. Катаева, Ф.В. Ткачева по расчету



аномальной размерности поля, и работа Д.И. Казакова, дополняющая ответ К.Г. Четыркина, А.Л. Катаева, Ф.В. Ткачева до полностью аналитического.

3. Название Главы 2 не вполне соответствует содержанию, в ней больший упор сделан на технику вычислений, а не на уравнения эволюции, поэтому было бы разумнее назвать ее как-то по-другому.
4. Глава 2, на стр 22 проведена попытка продемонстрировать на явном примере, что для вычисления расходимости  $L$  петлевой диаграммы достаточно конечной части  $(L-1)$  петлевой диаграммы. Как пример были выбраны вычисление бета-функции КЭД и функции Адлера в КХД. Из текста не вполне очевидно, что выбран именно этот класс функций, поэтому пояснения о процедуре вычисления воспринимаются как попытка обобщения на произвольный класс диаграмм, что явно неверно. Также необходимо отметить, что неудачные обозначения во второй части формулы (2.12) существенно затрудняют восприятие данных пояснений.
5. Глава 4 стр 37, фраза “ Используя выражения для  $L$ -петлевых интегралов при вычислении  $L$ -петлевых констант ренормировки позволяет воспользоваться мультипликативной перенормировкой соответствующих функция Грина”. Во-первых, в фразе отсутствует согласование, а, во-вторых, не ясно, что в данном контексте подразумевается под мультипликативной перенормировкой, ведь модель в любом случае перенормируется мультипликативно. Видимо, имеется ввиду вычисление констант перенормировки без применения  $R'$  операции.
6. Также следует отметить, следующие незначительные опечатки:
  - В главе 1 (стр 14) в предложении “Из эффективного действия (1.17) можно получить ...” присутствует явная опечатка: эффективное действие приведено в диссертации в формуле (1.14).
  - В главе 4 на стр 45, по-видимому из-за технической ошибки, дважды присутствует текст, объясняющий методику обработки матриц  $\gamma_5$  разными словами.
  - В формуле (4.30) присутствует английский язык.

Вышеописанные недостатки не влияют на общую достоверность, актуальность и научную значимость диссертационного исследования. Автореферат отвечает содержанию



диссертации, а диссертация соответствует специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Я считаю, что диссертация "Ренормгрупповые величины Стандартной модели в высших порядках теории возмущений" представляет собой законченную научно-исследовательскую работу и отвечает всем требованиям ВАК, а Пикельнер Андрей Федорович безусловно заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

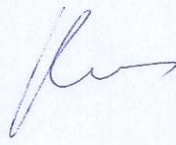
Официальный оппонент, кандидат физико-математических наук,  
доцент кафедры Физики Высоких Энергий и Элементарных  
Частиц, ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский Государственный  
Университет

198504, Россия, Санкт-Петербург, Петродворец, Ульяновская ул.,  
дом 1 г. Санкт-Петербург

e-mail: m.kompaniets@spbu.ru

Телефон: 8(812) 428-45-53

М.В. Компаниец

  
10.04.2015

*Подпись ректора М. В. Компаниеца заверено.*

*Машкина И.И.*

*зам. декана Управления  
кафедры*

10.09.2015

