

“УТВЕРЖДАЮ”

Заместитель директора ИЯИ РАН по науке,

к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ Рубцов Г.И.

\_\_\_\_\_ 2015 г.



### Отзыв ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук 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

Диссертационная работа Пикельнера А. Ф. посвящена изучению свойств Стандартной модели фундаментальных взаимодействий в области энергий, простирающейся вплоть до планковского масштаба. Исследование основано на применении ренормгрупповых уравнений для параметров модели, связывающих их значения на разных масштабах энергий. В работе вычислены поправки третьего порядка в уравнения эволюции, а также найдены двухпетлевые соотношения между наблюдаемыми величинами и параметрами модели,. Полученные Андреем Федоровичем результаты позволили на новом уровне точности подойти к решению вопроса, связанного со стабильностью вакуума Стандартной модели.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения, приложения и списка литературы.

**Во введении** представлены цель работы, задачи, решаемые в диссертации и положения, выносимые на защиту. Обсуждается научная новизна работы и практическая значимость проведенных расчетов. Указывается, где и когда результаты были представлены на конференциях.

**В первой главе** обсуждается современный статус вычислений ренормгрупповых функций и представлен обзор многопетлевых расчетов, проведенных с использованием метода устранения ультрафиолетовых расходимостей, базирующегося на схеме минимальных вычитаний  $\overline{MS}$ , а точнее ее общепринятой модификации - схемы  $\overline{MS}$ .

Рассмотрено поведение константы связи сильных взаимодействий в схеме  $\overline{MS}$  в квантовой хромодинамике и продемонстрирована необходимость вычисления дополнительных вкладов в ее эволюцию для проведения более детального ее извлечения из экспериментальных данных при высоких энергиях и сравнения с предсказаниями КХД, получаемыми при изучении различных процессов. В данной главе также напомнена важность проведения многопетлевых вычислений в теории скалярного поля с четверным самодействием, в КЭД, в Стандартной модели электрослабых взаимодействий и в различных суперсимметричных теориях.

**Во второй главе** рассмотрены методы вычислений бета-функций и аномальных размерностей в  $\overline{MS}$  – схеме, которые могут быть получены из расходящихся частей диаграмм Фейнмана, регуляризованных методом размерной регуляризации. Основное внимание уделено так называемому методу инфракрасных преобразований, позволяющему свести расчет расходимостей сложных диаграмм Фейнмана с многими масштабами к вычислению сравнительно простых интегралов с одной шкалой – либо имеющих вид собственно-энергетических одночастично-неприводимых безмассовых скалярных интегралов, либо диаграмм вакуумного типа с одной массой на всех линиях. Обсуждаются преимущества и недостатки обоих подходов, а также на простом примере продемонстрирована необходимость введения фиктивной массы для векторных частиц при использовании массивных вакуумных диаграмм.

В главе также дается краткое обсуждение хорошо-известных программ MINCER и MATAD, использующих разработанные в ИЯИ РАН методы рекуррентных соотношения интегрирования по частям, которые в данной работе используются для редукции трехпетлевых пропагаторных графов и массивных вакуумных графов к набору ранее характерных более простых интегралов, которые носят название «мастер-интегралов». Данные программы использованы в работе для нахождения вкладов третьего порядка в бета-функции Стандартной модели.

**В третьей главе** рассмотрен вопрос, связанный с нахождением граничных условий для ренормгрупповых уравнений в Стандартной Модели, в схеме  $\overline{\text{MS}}$  и в схеме перенормировок на массовой поверхности. Параметры модели на электрослабой шкале извлекаются из выделенного набора измеряемых в эксперименте величин – масс частиц (топ-кварка, W/Z-калибровочных бозонов и бозона Хиггса), константы Ферми и константы сильного взаимодействия, определяемой обычно в КХД с пятью активными кварками. Соотношения между искомыми величинами и наблюдаемыми рассматриваются в двухпетлевом приближении и содержат помимо восстанавливаемых из ренормгрупповых уравнений логарифмических дополнительные нелогарифмические слагаемые. Расчет осложнен необходимостью полного учета всех масс виртуальных частиц, появляющихся в диаграммах во втором порядке ТВ. Для вычисления двухпетлевых собственных энергий были использованы обобщенные рекуррентные соотношения О.В. Тарасова, реализованные в пакете TARCER. Возникающие мастер-интегралы, вычисляются пакетом программ TSIL с помощью численного решения дифференциальных уравнений на набор конкретных интегралов.

**В четвертой главе** обсуждаются полученные в работе результаты вычислений трехпетлевых бета-функций параметров Стандартной модели и граничных значений последних на электрослабой шкале. С помощью написанной А.Ф. Пикельнером программы, которая по указанному выше набору наблюдаемых величин позволяет самосогласовано проводить экстраполяцию параметров СМ в область высоких энергий, проведен анализ стабильности электрослабого вакуума. В качестве результата представлена фазовая диаграмма в следующих переменных – масса бозона Хиггса – масса топ-кварка - демонстрирующая, что в пределах 1-2 сигма наблюдаемые значения указанных масс согласуются с гипотезой абсолютной стабильности вакуума Стандартной Модели.

В заключении сформулированы основные результаты, выносимые на защиту.

В двух приложениях представлены выражения для трехпетлевых бета-функций и конечных поправок между полюсной и бегущей массой кварков в КХД.

**Хотелось бы высказать несколько замечаний.** В начале главы 1- в формуле (1.4) приводится пример аномальной размерности массы кварка в КХД и упомянуто что эта формула имеет отношение к схеме  $\overline{\text{MS}}$ . Данное утверждение представляется несколько

немотивированным, так как выражение для аномальной размерности массы ограничивается только первым членом, который не зависит от выбора схемы перенормировок. Также в первой главе приводятся примеры иллюстрирующие бег констант связи в КХД, которые извлекаются из различных экспериментальных данных. К сожалению при этом отсутствуют обсуждения наблюдения эффектов изменения при росте энергий бегущей массы  $b$ -кварка (см работы М.~С.~Bilenky, S.~Caberera, J.~Fuster, S.~Marti, G.~Rodrigo and A.~Santamaria, "m(b)(m(Z)) from jet production at the Z peak in the Cambridge algorithm," Phys. Rev. D **60** (1999) 114006 [hep-ph/9807489]. J.~Abdallah {it et al.} [DELPHI Collaboration], "Determination of the b quark mass at the M(Z) scale with the DELPHI detector at LEP," Eur. Phys. J. C **46** (2006) 569 [hep-ex/0603046]). Автору рекомендуется в дальнейших работах более детально разобраться с этим эффектом, что представляется важным для детального анализа имеющихся и будущих данных Большого адронного коллайдера.

В главе 4 при описании новой процедуры вычисления значения бегущей константы электромагнитного взаимодействия на масштабе массы  $Z$  бозона, в которой не используется информацию об адронных вкладах, а использующей только полюсные массы частиц Стандартной Модели и константу Ферми, отсутствует явное сравнение с общепринятой процедурой определения увеличения значения аналога этого параметра от Томпсоновского предела до масштаба массы  $Z$ - бозона. Далее в главе 4 при обсуждении КХД поправок к соотношению между бегущей и полюсной массой  $b$ - кварка с учетом замкнутых петель топ-кварка проводится численный анализ для вкладов таких диаграмм. При этом в приложении приведен аналитический результат для таких вкладов, но при этом полностью отсутствуют ссылки на оригинальные работы в которых они были получены

Однако, сделанные замечания не снижают ценность проделанной работы в целом.

Основные результаты работы являются оригинальными и обоснованными. Они докладывались на семинарах, а также на российских и международных конференциях. Представленные в диссертации результаты полно и своевременно опубликованы в ведущих зарубежных научных журналах и известны специалистам. Результаты диссертационной работы представляют интерес для специалистов в области физики частиц и могут найти применение в исследованиях, проводимых в ОИЯИ, ИЯИ РАН, ИТЭФ, ФИАН, НИИЯФ МГУ и ряде других институтов. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация Пикельнера Андрея Федоровича "Ренормгрупповые величины Стандартной

модели в высших порядках теории возмущений" соответствует требованиям Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 "О порядке присуждения ученых степеней", предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02- "Теоретическая физика".

Отзыв составил доктор физ.-мат. наук Катаев А.Л.,

Данный отзыв составлен по итогам обсуждения доклада А.Ф.Пикельнера на семинаре Отдела теоретической физики ИЯИ РАН 17 июня 2015 г.

Ведущий научный сотрудник ИЯИ РАН,

д.ф. - м. н.

Катаев Андрей Львович

ФГБУН Институт ядерных исследований Российской академии наук,

тел. + 7(495)133-65-33, e-mail: kataev@ms2.inr.ac.ru

117312, Россия, г.Москва, пр-т 60-летия Октября, д.7а, ИЯИ РАН

Подпись А.Л. Катаева  
зам. дир. ИЯИ

удостоверяю  
РАИ

Г.И. Рубцов



1. K.~G.~Chetyrkin, A.~L.~Kataev and F.~V.~Tkachov, ``Five Loop Calculations in the  $\phi^4$  Model and the Critical Index  $\eta$ ," *Phys. Lett. B* **99** (1981) 147 [*Phys. Lett. B* **101** (1981) 457].
2. S.~G.~Gorishny, A.~L.~Kataev and S.~A.~Larin, ``Two Loop Renormalization Group Calculations in Theories With Scalar Quarks," *Theor. Math. Phys.* **70** (1987) 262 [*Teor. Mat. Fiz.* **70** (1987) 372].
3. A.~L.~Kataev, ``Radiative QCD corrections: A personal outlook," In *Gatlinburg 1994, Proceedings, Radiative corrections\** 465-490, and CERN Geneva - TH.-7465 (94/10,rec.Nov.) 29 p [[hep-ph/9410308](#)].
4. S.~Catani *et al.*, ``Qcd," In *Geneva 1999, Standard model physics (and more) at the LHC\** 1-115 [[hep-ph/0005025](#)]; CERN-TH-2000-131; FERMILAB-CONF-00-393-T
5. A.~L.~Kataev and K.~V.~Stepanyantz, ``The NSVZ beta-function in supersymmetric theories with different regularizations and renormalization prescriptions," *Theor. Math. Phys.* **181** (2014) 1531 [[arXiv:1405.7598 \[hep-th\]](#)].