ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию М.Д. Кузьмичева «Ренормгрупповые функции в калибровочных теориях с N=1 суперсимметрией», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика

В диссертации М.Д. Кузьмичева исследуются квантовые поправки и связывающие их точные соотношения в N=1 суперсимметричных теориях, регуляризованных высшими ковариантными производными. Хорошо известно, что суперсимметрия улучшает ультрафиолетовое поведение благодаря наличию в суперсимметричных теориях так называемых теорем о неперенормировке. Благодаря этим теоремам определенные ренормгрупповые функции удовлетворяют некоторым точным соотношениям, исследование которых представляет безусловный интерес. Необходимо отметить, что данные соотношения справедливы далеко не для всех перенормировочных предписаний. Это происходит из-за схемной зависимости ренормгрупповых функций в высших порядках теории возмущений. Поэтому важным вопросом является нахождение схем перенормировки, в которых верны те или иные точные результаты.

Примерами точных соотношений между ренормгрупповыми функциями в N=1 суперсимметричных теориях являются уравнения, связывающие перенормировку масс и юкавских констант с перенормировкой суперполей материи, точная NSVZ (Новиков, Шифман, Вайнштейн, Захаров) β-функция и теорема о конечности тройных духово-калибровочных вершин. При этом в течение длительного времени стоял вопрос о построении схемы перенормировки, в которой верно соотношение NSVZ, которое, в частности, не выполняется в наиболее популярной схеме модифицированных минимальных вычитаний, дополняющей регуляризацию размерной редукцией. Данный вопрос был решен только сравнительно недавно с помощью применения регуляризации высшими ковариантными производными. Поэтому в диссертационном исследовании использовалась именно эта регуляризация.

Целью диссертационного исследования являлась проверка точных соотношений, которые могут связывать различные квантовые поправки в N=1 суперсимметричных теориях. С учетом того, что такие соотношения, как правило, не выполняются при произвольных перенормировочных предписаниях, также ставилась задача исследовать, в каких схемах вычитаний данные соотношения будут выполняться. В частности, в тех порядках теории возмущений, где становится существенной схемная зависимость, для N=1 суперсимметричных теорий, регуляризованных высшими ковариантными производными, проверялись NSVZ соотношение (в новой форме, связывающей β-функцию в некотором порядке теории возмущений с аномальными размерностями квантовых суперполей в предыдущем порядке) в трехпетлевом приближении и теорема о конечности тройных духово-калибровочных вершин в двухпетлевом приближении. Также исследовались и проверялись потенциально возможные точные соотношения между ренормгрупповыми функциями в так называемых P = 1/3Q суперсимметричных теориях.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Во введении обосновывается актуальность темы исследования, демонстрируется степень ее разработанности, и кратко перечисляются основные результаты.

В главе 1 для N=1 суперсимметричной теории Янга–Миллса при использовании регуляризации высшими ковариантными производными исследуется связь между вкладами духов Фаддеева–Попова в трехпетлевую β-функцию от определенных супердиаграмм и соответствующими вкладами в двухпетлевую аномальную размерность духов, которая следует из новой формы соотношения NSVZ.

В главе 2 аналогичное исследование проводится для N=1 суперсимметричных калибровочных теорий, регуляризованных высшими ковариантными производными, где рассматриваются вклады от непланарных трехпетлевых диаграмм с петлей суперполей материи в β-функцию и их связь с соответствующими вкладами в аномальную размерность суперполей материи.

В главе 3 изучается двухпетлевая перенормировка тройных духово-калибровочных вершин. При этом вычисляется большое количество определенных двухпетлевых супердиаграмм, пропорциональных C_2^2 или содержащих петлю суперполей материи, которые дают вклад в перенормировку тройных духово-калибровочных вершин. В сочетании с результатами, полученными соавторами соискателя, данные вычисления позволили проверить конечность рассматриваемых вершин в двухпетлевом приближении.

В главе 4 исследуется условие редукции констант связи для P = 1/3Q суперсимметричных теорий и изучаются возможные точные соотношения в данных теориях. При этом получено некоторое ранее неизвестное соотношение, связывающее аномальные размерности квантовых суперполей в каждом порядке теории возмущений, эквивалентное требованию ренорминвариантности отношения юкавских констант связи к калибровочной. Справедливость этого соотношения проверяется в одно- и двухпетлевом приближениях.

В заключении приводятся основные результаты проведенных исследований.

Результаты диссертационного исследования, выносимые на защиту, являются новыми. Основные из них заключаются в следующем:

Доказана справедливость (новой формы) NSVZ соотношения на уровне диаграмм Фейнмана для всех рассмотренных трехпетлевых суперграфов с петлей духов и с петлей суперполей материи. Установлено, что оно выполняется, если вычисления проводятся для ренормгрупповых функций, определенных в терминах голых констант связи, и при использовании регуляризации высшими ковариантными производными.

Продемонстрирована применимость нового алгоритма для нахождения вкладов в β-функцию суперсимметричных теорий, основанного на вычислении специальным образом модифицированных вакуумных суперграфов.

Показано, что несмотря на то, что вклады от некоторых вычисленных в диссертации суперграфов в перенормировку тройных духово-калибровочных

вершин оказываются расходящимися, при суммировании с вкладами от других супердиаграмм (вычисленных соавторами соискателя) тройные духово-калибровочные вершины оказываются конечными в двухпетлевом приближении.

Установлено, что в P = 1/3Q суперсимметричных теориях ренорминвариантность отношения юкавских констант связи к калибровочной эквивалентна некоторому соотношению, связывающему аномальные размерности квантовых суперполей в каждом порядке теории возмущений. Справедливость этого соотношения была проверена в однопетлевом приближении, а в двухпетлевом приближении было показано, что существуют схемы, в которых оно выполняется.

Замечаний по оформлению и представлению результатов диссертации нет, однако есть несколько вопросов по статусу использованных методов перенормировки и их калибровочным свойствам. Насколько я понимаю, использовалась фоново-ковариантная калибровка, в которой УФ контрчлены автоматически имеют инвариантный вид относительно локальных калибровочных преобразований и формализм не требует перенормировки отдельных вершин в действии. Тогда почему же особую роль играет перенормировка вершины взаимодействия с духами Фаддеева-Попова, которой уделяется столько внимания? Отдельный, но взаимосвязанный, вопрос касается зависимости результатов от выбора калибровки (то есть от калибровочного параметра) --- нельзя ли выделить набор по терминологии Вайнберга т. н. существенных констант, бета-функции которых не зависят от калибровки. Последний вопрос заключается в возможности применения размерной регуляризации как альтернативе высшим производным или какого-то варианта размерной редукции, которая спасает от нарушения суперсимметрии в других пространственно-временных размерностях.

Тем не менее, эти вопросы и замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационного исследования. Проделанные вычисления в высших порядках теории возмущений для N=1 суперсимметричных калибровочных теорий, регуляризованных высшими ковариантными производными, являются технически очень сложной задачей. Соискателем были продемонстрированы отличное владение аппаратом квантовой теории поля и уверенное его

применение в суперсимметричном случае, что позволило получить ряд новых и интересных результатов. Несмотря на теоретический характер работы, полученные результаты могут быть использованы для исследования феноменологически интересных теорий, претендующих на описание физики за рамками Стандартной модели, например, суперсимметричных теорий Великого объединения.

Результаты диссертации опубликованы в 6 статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в список ВАК, а также представлены в 5 тезисах международных конференций. Автореферат правильно и в полной мере отражает содержание диссертации.

На мой взгляд, диссертация «Ренормгрупповые функции в калибровочных теориях с N=1 суперсимметрией» удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, а ее автор Кузьмичев Михаил Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук

Барвинский Андрей Олегович

(специальность – 01.04.02)

(тел. +7(906)734-38-73, email: barvin@td.lpi.ru)

Лаборатория теории фундаментальных взаимодействий

ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Подпись А.О.Барвинского «удостоверяю»
Ученый секретарь ФИАН,
к.ф-м.н. А.В. Колобов