

**Отзыв на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Широкова Ильи Евгеньевича
на тему: « Автоматизация вычислений квантовых поправок в
суперсимметричных теориях»
по специальности 1.3.3 – «теоретическая физика »**

Задачи символьных вычислений высших поправок теории возмущений (ТВ) в ренорм-групповые величины перенормируемых суперсимметричных (СУСИ) моделей квантовой теории поля (КТП) являются крайне актуальными проблемами как в связи с изучением теоретических особенностей моделей, так и с продолжением поисков сигналов новой физики (в том числе суперсимметрии) на масштабах высоких энергий Большого адронного коллайдера в Международном центре ЦЕРН (Швейцария) и с изучением возможности их проявления на масштабах сверх высоких энергий в экспериментах разрабатываемых проектов ускорителей будущего поколения (в Китае, Японии и Швейцарии). И даже если суперсимметричные теории не будут открыты в качестве кандидатов на новую физику в природе, ее теоретические следы безусловно могут проявиться (и уже проявляются) при изучении характерных особенностей свойств ТВ при изучении характерных эффектов в других перенормируемых моделях КТП, в частности таких как теория сильных взаимодействий КХД.

В связи с ростом сложности данных расчетов и с увеличением количества Фейнмановских графиков как в формализме суперграфов, так и на более часто применяемом ковариантном языке, крайне актуальной проблемой является автоматизация проводимых вычислений при применении не только более стандартной регуляризации, основанной на идеях размерной регуляризации в D - мерном пространстве-времени, так и сформулированной еще в 1971-1972 гг. А.А. Славновым регуляризации высшим ковариантными производными непосредственно в 4-мерном физическом пространстве-времени. В связи со сложностями непосредственных вычислений в данной

регуляризации до недавнего времени она применялась в основном в теоретических исследованиях в СУСИ (и не только) моделях квантовой теории поля. Однако, за текущее 10-летие благодаря титаническим усилиям в основном сотрудников и аспирантов кафедры Теоретической физики физического факультета МГУ и не только удалось развить формализм, позволяющий довести уровень расчета ренорм-групповых функций в $N=1$ реалистичных СУСИ теориях вплоть до 3-петлевого уровня.

Дальнейшее продвижение на более высокие порядки теории возмущений потребовало не только знания и понимания развитого формализма и проведения в нем конкретных вычислений вручную вкладов ряда калибровочно-инвариантных классов 2-х и 3-х петлевых диаграмм в ренорм-групповые функции абелевых и неабелевых $N=1$ СУСИ моделях, но и автоматизации вычислений многопетлевых супергафов и понимания специфики сформулированных в 1980-е годы Вайнштейном-Захаровым-Новиком и Шифманом точных соотношений между ренорм-групповыми бета-функциями и аномальными размерностями материи в $N=1$ СУСИ абелевых и неабелевых $N=1$ калибровочных СУСИ теорий, справедливых как на языке перенормированных констант связи и, как было выявлено лишь недавно, в специальном классе перенормировочных схем во всех порядках теории возмущений. Данные соотношения сводят задачи вычислений 4-х петлевых вкладов в бета-функции к 3-х петлевым расчетам аномальных размерностей, которые крайне желательно было алгоритмизировать.

В рецензируемой кандидатской диссертации И.Е. Широкова удалось решить большую часть из перечисленных выше актуальных теоретических проблем. Во Введении, содержащемся в **Главе 1**, автором работы приведен обзор ряда существующих компьютерных программ, которые позволяют проводить аналитические и численные вычисления квантовых поправок в различных перенормируемых теориях. В **Главе 2** описываются проведенные автором вручную ряд вычислений вкладов классов

многочисленных диаграмм в $N=1$ суперсимметричной теории Янга-Миллса на языке перенормированных констант связи с применением высших ковариантных производных, а именно а) вклад со вставками поляризованного оператора а аномальную размерность духов Фаддева и Попова в 2-петлевом приближении б) в вклады в трек-точечную духово-калибровочную вершину $N=1$ СУСИ теории Янга-Миллса. Это позволило автору работы проверить в 3-петлевом приближении свойство конечности данной тройной вершины.

Основная часть диссертации содержится в **Главах 3 и 4**. В **Главе 3** автором приведено описание написанной им на языке C++ новой аналитической программы, позволяющей не только генерировать полные наборы диаграмм в 3-петлевую аномальную размерность $N=1$ суперсимметричной электродинамики, но и сводить нерешенную ранее задачу вычисления трех-петлевой аномальной размерности суперполей материи к расчетам вычисляемых затем вручную наборов скалярных двух- и трех-точечных интегралов. Следует подчеркнуть, что несмотря то, что процесс вычислений еще не до конца автоматизирован, в диссертации автором выполнен прорывной важный шаг к существенному упрощению расчетов аномальных размерностей в высших порядках ТВ.

В **Главе 4** при помощи написанной персонально автором новой важной символьной программы проведены новые аналитические вычисления аномальной размерности суперполей материи и с помощью точных соотношений Вайнштейна-Захарова-Новикова-Шифмана в $N=1$ СУСИ КЭД впервые получен 4-петлевой результат для бета-функции этой теории в терминах перенормированной константы связи. Затем, путем проведения явных перенормировок, впервые найдено 4-петлевое выражение этой важной ренорм-групповой величины в известной ранее схеме вычитаний с высшими ковариантными производными и изучена схемная зависимость полученного результата. В частности показано существование интересных

перенормировочных предписаний, позволяющих переписать полученные аналитические 3-х и 4-петлевые результаты в виде рядов теории возмущений со схемно-независимыми коэффициентами.

Данный результат представляется крайне-интересным, но требует дальнейшего более детального исследования. Действительно, с первого взгляда непонятно, является ли существование такого предписания конечной перенормировки спецификой суперсимметрии, либо применение данного предписания приводит к специфической функциональной зависимости масштаба перенормировки, определенной при найденных в диссертации функциональных преобразованиях.

Приведу так же ряд других критических замечаний.

1. Формулы (2.65) и (2.66), полученные в 4-мерии, крайне напоминают аналогичные результаты из известной работы С.Г. Горишнего и А.П. Исаева “О подходе к вычислению многопетлевых безмассовых интегралов”, ТМФ, 62 (1985) 385. Это может выявить некоторые аналогии методов, применявшимися автором диссертации при вычислении в регуляризации с высшими ковариантными производными, с рассмотрениями авторами цитируемой работы, в которой существенно использовалась размерная регуляризация
- 2 На стр. 19 автором диссертации использован новый термин “внутригрупповые функции” (что, конечно, является опечаткой).

Замечания не снижают высокого уровня данной диссертационной работы. Обоснованность, достоверность и новизна полученных автором диссертации результатов не вызывает сомнения. Афтореферат диссертации кратко и ясно отражает содержание диссертации. Таким образом, рецензируемая работа отвечает всем требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.3 «Теоретическая физика», а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Ее автор, соискатель, Широков Илья Евгеньевич, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, Отдел теоретической физики
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
ядерных исследований Российской Академии Наук

Катаев Андрей Львович

Контактные данные:

тел.: 7(915)033-01-67, e-mail: kataev@inr.ac.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена докторская диссертация: 01.04.02 - теоретическая и математическая физика.

Адрес места работы: 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, д. 7А

Подпись сотрудника ИЯИ РАН Катаева А.Л. удостоверяю,
Заместитель директора ИЯИ РАН, д.ф.-м.н.

Г.И. Рубцов

25.10.2022