

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Мещерякова Николая Павловича
на тему: «Теоремы о неперенормировке в $N = 1$ суперсимметричных
теориях Янга–Миллса»
по специальности 1.3.3. – «Теоретическая физика»

Рассматриваемая диссертация посвящена исследованию свойств петлевых квантовых поправок в $N=1$ суперсимметричных калибровочных теориях. При этом особое внимание уделяется изучению недавно установленной теореме о неперенормировке тройных духово-калибровочных вершин, а также точной β -функции Новикова, Шифмана, Вайнштейна и Захарова (NSVZ). Исследование этих вопросов является важным, так как именно теории с $N=1$ суперсимметрией зачастую применяются для описания физики частиц за рамками Стандартной модели сильных и электрослабых взаимодействий. Несмотря на отсутствие в настоящее время прямых экспериментальных подтверждений суперсимметрии, интерес к ней не угасает. Это обусловлено теоретической привлекательностью суперсимметричных моделей, обладающих замечательными физическими свойствами, которые выгодно выделяют суперсимметричные теории из всех современных теорий фундаментальных взаимодействий. Прежде всего стоит отметить ряд важных теорем о неперенормировке, благодаря которым определенные величины в суперсимметричных моделях оказываются конечными в ультрафиолетовой области. В моделях с нерасширенной суперсимметрией, которые наиболее интересны в феноменологическом отношении, имеется несколько утверждений подобного рода, например, теорема о неперенормировке суперпотенциала. Также существует точное во всех порядках теории возмущений соотношение между β -функцией и аномальной размерностью киральных суперполей материи, называемое

NSVZ β -функцией. NSVZ β -функция известна довольно давно, однако вопрос о построении всепетлевых схем перенормировки, в которых она справедлива, был решен относительно недавно с помощью регуляризации высшими ковариантными производными, предложенной А.А. Славновым. Кроме того, для решения вопроса о построении всепетлевой NSVZ схемы была использована недавно предложенная теорема о неперенормировке тройных духово-калибровочных вершин. Ввиду новизны и важности этой теоремы, а также технической сложности её доказательства, представляется крайне желательным провести её явную проверку прямыми вычислениями по теории возмущений. Также важной и интересной является проверка явными вычислениями всепетлевого предписания, дающего NSVZ схему, причем в таком порядке теории возмущений, где схемная зависимость ренормгрупповых функций становится существенной. Решение этих актуальных задач и является целью диссертации Мещерякова Н.П.

Диссертация Мещерякова Н.П. содержит введение, 4 главы основного текста, заключение, 4 приложения и список литературы, включающий 127 наименований. Общий объем диссертации составляет 135 страниц.

Во Введении рассмотрена общая характеристика диссертационного исследования; перечислены публикации автора по теме диссертации и конференции, на которых были представлены результаты работы; указан личный вклад автора.

В главе 1 проводится двухпетлевая проверка теоремы о неперенормировке тройных духово-калибровочных вершин. Здесь подробно описывается рассматриваемая теория и методы, используемые при данной проверке. После этого вычисляются двухпетлевые супердиаграммы с двумя внешними линиями духов Фаддеева–Попова и одной внешней линией квантового калибровочного суперполя, которые дают вклад в тройную духово-калибровочную вершину. Полученные выражения суммируются с аналогичными вкладами, вычисленными соавторами Мещерякова Н.П., и

выполняется проверка ультрафиолетовой конечности тройных духово-калибровочных вершин в рассматриваемом двухпетлевом приближении.

В главе 2 вычисляется определенный трёхпетлевой вклад в β -функцию $N=1$ суперсимметричных калибровочных теорий, регуляризованных высшими ковариантными производными с помощью недавно предложенного метода. В отличие от стандартного способа вычисления вкладов в β -функцию с помощью суперграфов с двумя внешними калибровочными линиями, данный метод основан на вычислении специальным образом модифицированных вакуумных суперграфов. Автор рассматривает два важных трёхпетлевых вакуумных суперграфа, каждый из которых содержит петлю духов Фаддеева-Попова, и с помощью новой техники вычисляет вклад в β -функцию от всех супердиаграмм, получающихся прикреплением к ним двух внешних линий фонового калибровочного суперполя.

В главе 3 обсуждается вычисление двухпетлевых вкладов в аномальную размерность духов Фаддеева-Попова от двухточечных супердиаграмм, графически получающихся посредством разрезания внутренних линий духов Фаддеева-Попова в трёхпетлевых вакуумных суперграфах, рассмотренных в главе 2. Показывается, что связь вычисленных трёхпетлевых вкладов в β -функцию и двухпетлевых вкладов в аномальную размерность духов Фаддеева-Попова согласуется с новой формой NSVZ соотношения. В этой главе также обсуждается полная трёхпетлевая проверка духовой части новой формы NSVZ β -функции, а также вычисления двухпетлевой аномальной размерности духов Фаддеева-Попова в общей ξ -калибровке.

Глава 4 посвящена применению метода модифицированных вакуумных суперграфов для построения вкладов в β -функцию в случае $N=1$ суперсимметричной квантовой электродинамики с N_f ароматами, регуляризованной высшими производными. С помощью данного метода автор вычисляет определенный трёхпетлевой вклад в β -функцию в общей ξ -калибровке, который затем сравнивает с соответствующим двухпетлевым

вкладом в аномальную размерность киральных суперполей материи. Показывается, что вычисленные вклады связаны абелевым NSVZ соотношением. Кроме того, выполняется суммирование полученных вкладов с другими результатами, найденными соавторами Мещерякова Н.П., и демонстрируется справедливость NSVZ соотношения в трёхпетлевом приближении.

В заключении подводятся итоги проведенного исследования и перечисляются основные полученные результаты. В приложениях приводятся детали вычисления супердиаграмм, а также формулы, необходимые для решения задач диссертации.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Научные положения и выводы, сделанные в диссертации, сформулированы четко и понятно; автор продемонстрировал высокий уровень математической культуры при получении результатов, выносимых на защиту. В диссертации используются многократно проверенные в научной литературе методы квантовой теории поля и их известная адаптация на случай суперсимметричных теорий в формализме $N=1$ суперпространства. Результаты диссертации были опубликованы в высокорейтинговых журналах (JHEP, Phys. Rev. D, Eur. Phys. J. C, Nucl. Phys. B), что предполагает тщательную процедуру рецензирования ведущими специалистами в данной тематике. Полученные результаты неоднократно докладывались на международных конференциях и были опубликованы в сборниках материалов конференций. Таким образом, обоснованность и достоверность положений и выводов диссертации не вызывает сомнений.

В диссертации был получен ряд ранее неизвестных аналитических выражений для различных вкладов в ренормгрупповые функции $N=1$ суперсимметричных калибровочных теорий, а также в трёхточечную функцию Грина духово-калибровочных вершин. А именно, с привлечением регуляризации высшими ковариантными производными в суперполево-м формализме были вычислены двухпетлевые квантовые поправки к тройным

духово-калибровочным вершинам; важные трёхпетлевые вклады духов Фаддеева–Попова в β -функцию $N=1$ суперсимметричных теорий Янга–Миллса и соответствующие двухпетлевые вклады в аномальную размерность духов Фаддеева–Попова; определенный трехпетлевой вклад в β -функцию $N=1$ суперсимметричной квантовой электродинамики и соответствующий двухпетлевой вклад в аномальную размерность киральных суперполей материи. Полученные результаты были использованы для двухпетлевой проверки теоремы о неперенормировке тройных духово-калибровочных вершин и для проверки новой формы NSVZ β -функции.

Безусловным достоинством работы является то, что вклады в ренормгрупповые функции получены в тех порядках, где проявляется зависимость от схемы перенормировки, а также рассмотрение случая с произвольным значением калибровочного параметра. Это предоставило возможность проведения анализа как схемной, так и калибровочной зависимости исследуемых функций.

Необходимо отметить, что вычисление вкладов в β -функцию, определенную в терминах голых параметров, было проведено с помощью недавно предложенного нового метода, основанного на вычислении модифицированных вакуумных супердиаграмм. Примеров использования этого метода в научной литературе ещё очень мало, поэтому обсуждение в рассматриваемой диссертации его практического применения представляется очень полезным. При этом полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований по данной тематике.

Личный вклад Н.П. Мещерякова в исследованиях, отражённых в диссертации, является существенным, а в решении задачи о двухпетлевой проверке теоремы о неперенормировке тройных духово-калибровочных вершин – определяющим. Диссертация основана на личном вкладе автора и результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. При этом общие результаты, полученные вместе с соавторами, также обсуждаются и сопровождаются в диссертации необходимыми ссылками. Личный вклад

автора диссертации однозначно отделяется от результатов, полученных соавторами совместных публикаций и другими исследователями.

При общей высокой оценке диссертационной работы следует отметить ряд замечаний:

В начале основного текста диссертации или в качестве дополнительного приложения следовало бы описать используемые в тексте диссертации соглашения для вейлевских спиноров и указать явный вид спинорных ковариантных производных.

Во избежание возможных недоразумений при представлении β -функции в виде интегралов от двойных полных производных по петлевым импульсам следует явно указать в обозначении таких интегралов выкалывание из области интегрирования точек сингулярностей подынтегральной функции, например, посредством обозначения $R^4/\{0\}$ при сингулярности в нуле.

Признавая эффективность использования в разделе 1.5 в качестве квантового препотенциала киральных и антикиральных суперполей, построенных с помощью эрмитового суперполя, было бы уместным сделать более подробное объяснение общности этой процедуры, что обогатило бы содержание диссертации.

Представлялось бы полезным при определении β -функции и аномальных размерностей суперполей в главе 2 дать уточнение смысла логарифмов от параметра регуляризации Λ и масштаба перенормировки μ , являющихся размерными величинами.

Вместе с тем, указанные замечания не снижают ценности и важности полученных в диссертации результатов. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.3. – «Теоретическая физика» (по физико-математическим наукам), 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.

Таким образом, соискатель Мещеряков Николай Павлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – «Теоретическая физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
доцент, ведущий научный сотрудник
Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова
Объединенного института ядерных исследований

Федорук Сергей Алексеевич

09.12.2022 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (49621) 6 24 45, e-mail: fedoruk@theor.jinr.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация:

01.04.02 – «теоретическая физика»

Адрес места работы:

141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6,

Объединенный институт ядерных исследований,

Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова

Тел.: +7 (49621) 6 50 59; e-mail: post@jinr.ru

Подпись сотрудника ЛТФ ОИЯИ

С.А. Федорука удостоверяю:

Учёный секретарь ЛТФ ОИЯИ

А.В. Андреев

09.12.2022 г.