

Заключение диссертационного совета МГУ.011.2

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от «22» декабря 2022 г. № 9

О присуждении Мещерякову Николаю Павловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Теоремы о неперенормировке в $N = 1$ суперсимметричных теориях Янга–Миллса» по специальности 1.3.3. – «Теоретическая физика» принята к защите диссертационным советом 10 ноября 2022 г., протокол № 4.

Соискатель Мещеряков Николай Павлович, 1994 года рождения, в 2022 году окончил аспирантуру физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Соискатель работает в должности механика на кафедре квантовой теории и физики высоких энергий физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Диссертация выполнена на кафедре теоретической физики физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Степаньянц Константин Викторович, доцент кафедры теоретической физики физического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Официальные оппоненты:

1. Быков Дмитрий Владимирович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела теоретической физики ФГБН «Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук»;
2. Невзоров Роман Борисович, доктор физико-математических наук, высококвалифицированный ведущий научный сотрудник лаборатории

квантовой теории поля ФГБУН «Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук»;

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

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 9 работ, из них 5 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.3. – «Теоретическая физика».

1. Kazantsev A. E., Kuzmichev M. D., Meshcheriakov N. P., Novgorodtsev S. V., Shirokov I. E., Skoptsov M. B. and Stepanyantz K. V. Two-loop renormalization of the Faddeev–Popov ghosts in $N = 1$ supersymmetric gauge theories regularized by higher derivatives // JHEP. — 2018. — Vol. 06. — P. 020. (Импакт-фактор WoS: 5.810)
2. Kuzmichev M. D., Meshcheriakov N. P., Novgorodtsev S. V., Shirokov I. E. and Stepanyantz K. V. Three-loop contribution of the Faddeev–Popov ghosts to the β -function of $N = 1$ supersymmetric gauge theories and the NSVZ relation // Eur. Phys. J. C. — 2019. — Vol. 79, no. 9. — P. 809. (Импакт-фактор WoS: 4.590)
3. Aleshin S. S., Durandina I. S., Kolupaev D. S., Korneev D. S., Kuzmichev M. D., Meshcheriakov N. P., Novgorodtsev S. V., Petrov I. A., Shatalova V. V., Shirokov I. E., Shirokova V. Y., and Stepanyantz K. V. Three-loop verification of a new algorithm for the calculation of a β -function in supersymmetric theories regularized by higher derivatives for the case of $N = 1$ SQED // Nucl. Phys. B. — 2020. — Vol. 956. — P. 115020. (Импакт-фактор WoS: 2.759)
4. Kuzmichev M. D., Meshcheriakov N. P., Novgorodtsev S. V., Shirokov I. E., Stepanyantz K. V. Finiteness of the two-loop matter contribution to the triple gauge-ghost vertices in $N = 1$ supersymmetric gauge theories regularized by higher derivatives // Phys. Rev. D. — 2021. — Vol. 104, no. 2. — P. 025008. (Импакт-фактор WoS: 5.296)

5. Kuzmichev M. D., Meshcheriakov N. P., Novgorodtsev S. V., Shatalova V. V., Shirokov I. E., Stepanyantz K. V. Finiteness of the triple gauge-ghost vertices in $N = 1$ supersymmetric gauge theories: the two-loop verification // Eur. Phys. J. C. — 2022. — Vol. 82, no. 1. — P. 69. (Импакт-фактор WoS: 4.590)

На диссертацию и автореферат дополнительных отзывов не поступило.

Выбор официальных оппонентов обосновывался высоким уровнем их компетентности в области теоретической физики по вопросам квантовой теории поля и суперсимметрии, а также наличием публикаций в высокорейтинговых журналах в соответствующей сфере исследования, в том числе публикаций за последние пять лет, список которых был представлен диссертационному совету.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований были получены новые результаты в области изучения высокоэнергетического поведения $N=1$ суперсимметричных калибровочных теорий, регуляризованных высшими ковариантными производными. Исследование квантовых свойств $N=1$ суперсимметричных калибровочных теорий играет важную роль в современной физике высоких энергий, поскольку на их основе строятся суперсимметричные обобщения Стандартной модели, которые естественным образом приводят также и к объединению сильных и электрослабых взаимодействий на некотором очень высоком масштабе энергий. В диссертации с помощью пертурбативных вычислений в методе $N=1$ суперпространства было показано, что теорема о неперенормировке тройных духово-калибровочных вершин справедлива в двухпетлевом приближении в общей ξ -калибровке. Данная теорема устанавливает связь между перенормировкой константы связи, квантового калибровочного суперполя и духов Фаддеева–Попова, и эта теорема лежит в основе доказательства точной β -функции Новикова, Шифмана, Вайнштейна и Захарова (НШВЗ) во всех порядках теории возмущений. Также в диссертации получен ряд ранее неизвестных выражений для

вкладов в ренормгрупповые функции $N=1$ суперсимметричных калибровочных теорий, регуляризованных высшими ковариантными производными по методу А.А. Славнова. А именно, в $N=1$ суперсимметричных теориях Янга–Миллса были вычислены определенные трехпетлевые вклады в β -функцию, идущие от суперграфов с петлей духов Фаддеева–Попова, а также ряд двухпетлевых вкладов в аномальную размерность духов Фаддеева–Попова. В $N=1$ суперсимметричной квантовой электродинамике (СКЭД) был вычислен некоторый трехпетлевой вклад в β -функцию и двухпетлевой вклад в аномальную размерность киральных суперполей материи. Данные вычисления были выполнены в общей ξ -калибровке и в тех порядках теории возмущений, в которых существенна схемная зависимость. Это предоставило возможность для дальнейшего исследования калибровочной и схемной зависимости рассматриваемых ренормгрупповых функций. При этом вычисления трехпетлевых вкладов в β -функцию были выполнены с использованием недавно предложенного К.В. Степаньянцем нового метода, основанного на рассмотрении специальным образом модифицированных вакуумных супердиаграмм. В диссертации на конкретных примерах продемонстрированы основные шаги применения данного метода и сделан вывод об эффективности его использования в рассмотренных случаях по сравнению со стандартным способом получения β -функции с помощью супердиаграмм с двумя внешними линиями (фонового) калибровочного суперполя.

В дальнейшем результаты, полученные автором диссертации, в совокупности с другими необходимыми результатами, полученными соавторами совместных публикаций, были использованы для вычисления двухпетлевой аномальной размерности духов Фаддеева–Попова в общей ξ -калибровке; полного вклада духов Фаддеева–Попова в трехпетлевую β -функцию; полной трехпетлевой проверки духового сектора новой формы НШВЗ-соотношения, связывающей β -функцию с аномальными размерностями всех квантовых суперполей. Кроме того, они применялись для явной проверки корректности метода получения β -функции с помощью

модифицированных вакуумных суперграфов посредством прямого сопоставления вычисленной на его основе трехпетлевой β -функции в N=1 СКЭД с аналогичным результатом, полученным ранее в другой работе стандартным способом, предполагающим вычисление супердиаграмм с двумя внешними линиями калибровочного суперполя.

Проведенные исследования структуры петлевых квантовых поправок и точных соотношений между ренормгрупповыми функциями в N=1 суперсимметричных калибровочных теориях позволили глубже понять особенности данных теорий на квантовом уровне и, в частности, причины нетривиальной взаимосвязи между расходимостями, которая делает высокоэнергетическое поведение суперсимметричных теорий столь привлекательным.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. В перенормируемых неабелевых N=1 суперсимметричных теориях с простой калибровочной группой вычислен большой набор двухпетлевых квантовых поправок к тройным духово-калибровочным вершинам, содержащим две внешние линии духов Фаддеева–Попова и одну внешнюю линию квантового калибровочного суперполя. Показано, что тройные духово-калибровочные вершины конечны в ультрафиолетовой области в двухпетлевом приближении.

2. Получены некоторые трехпетлевые вклады духов Фаддеева–Попова в β -функцию N=1 суперсимметричных теорий Янга–Миллса и некоторый трехпетлевой вклад в β -функцию N=1 СКЭД с использованием метода, основанного на вычислении модифицированных вакуумных суперграфов.

3. Вычислены двухпетлевые вклады в аномальную размерность духов Фаддеева–Попова, а также в аномальную размерность суперполей материи в N=1 СКЭД от супердиаграмм, получающихся разрезанием внутренних линий духов Фаддеева–Попова и суперполей материи в рассматриваемых вакуумных

суперграфах. Показано, что полученные трехпетлевые вклады в β -функции и двухпетлевые вклады в аномальные размерности связаны НШВЗ-соотношением.

На заседании 22 декабря 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Мещерякову Н.П. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 13 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета (дополнительно введены на разовую защиту 0 человек), проголосовали: за — 13, против — 0, недействительных бюллетеней — 0.

Председатель

диссертационного совета МГУ.011.2

профессор

Б.И. Садовников

Ученый секретарь

диссертационного совета МГУ.011.2

профессор

П.А. Поляков

22 декабря 2022 г.