

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Казанцева Александра Евгеньевича
на тему: «Многопетлевые вычисления и точные результаты
в $N=1$ суперсимметричных теориях»
по специальности 01.04.02 — «теоретическая физика»

В основе современных теоретических представлений о взаимодействиях элементарных частиц лежит Стандартная модель (СМ), которая представляет собой калибровочную квантовую теорию поля со спонтанно нарушенной калибровочной симметрией. СМ хорошо подтверждена экспериментально: открыты все входящие в нее частицы, а пертурбативные теоретические расчеты в ее рамках очень хорошо описывают практически все имеющиеся экспериментальные данные. Прямые поиски на LHC также указывают на отсутствие каких-либо новых частиц в области масс до примерно 5 ТэВ.

Однако несовместимость СМ с современной космологией и значительное отклонение результатов теоретических расчетов в ее рамках аномального магнитного момента мюона от экспериментального значения дают основания полагать, что СМ не является окончательной теорией взаимодействий элементарных частиц. Поэтому по-прежнему актуальной является задача изучения моделей взаимодействий элементарных частиц за рамками СМ. Одним из возможных и широко обсуждаемых обобщений СМ являются суперсимметричные модели взаимодействий элементарных частиц. Диссертация А.Е. Казанцева посвящена детальному изучению структуры квантовых поправок в таких теориях, что необходимо для получения в их рамках различных физических предсказаний. Следует отметить, что вычисления квантовых поправок в суперсимметричных моделях необходимы не только для анализа явлений в области высоких энергий, где ожидается

рождение суперпартнеров частиц СМ, но и для низкоэнергетических экспериментов, в частности, для эксперимента по прецизионному измерению аномального магнитного момента мюона, где вклад в измеряемые величины дают виртуальные суперпартнеры частиц СМ. В диссертации по теории возмущений вычислены различные ренормгрупповые величины в $N = 1$ суперсимметричных калибровочных теориях, а также исследованы некоторые вопросы, возникающие при анализе ряда теории возмущений в таких теориях. Одним из таких вопросов является вопрос о связи точного результата для β -функции $N = 1$ суперсимметричной теории Янга—Миллса, полученного Новиковым, Шифманом, Вайнштейном и Захаровым (НШВЗ), и результатов теории возмущений. Также интересным является вопрос о том, как связь во всех порядках теории возмущений β -функции и аномальной размерности суперполей материи, имеющая место в точном результате Новикова, Шифмана, Вайнштейна и Захарова, возникает из структуры квантовых поправок. Диссертация А.Е. Казанцева демонстрирует значительное продвижение в поиске ответов на оба эти вопроса, идя по пути прямого вычисления β -функции по теории возмущений с использованием метода регуляризации высшими ковариантными производными.

Во Введении обсуждается актуальность работы, формулируются цели и задачи, излагаются научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость работы. Затем приводится обоснование достоверности полученных результатов и формулируются положения, выносимые на защиту.

В первой главе автор занимается вычислением D -функции Адлера $N = 1$ суперсимметричной квантовой хромодинамики. При этом берется ее обобщенная версия с полями кварков и их суперпартнеров в произвольном представлении произвольной простой калибровочной группы. Автор рассматривает ренормгрупповые величины, определенные в терминах голой константы связи. Для таким образом определенных D -функции и аномальной размерности известно точное соотношение типа Новикова—

Шифмана—Вайнштейна—Захарова, однако многопетлевых вычислений, где бы оно возникало в явном виде, до сих пор не было. Здесь автор явно вычисляет трехпетлевую D -функцию, а затем сравнивает ее с двухпетлевым интегралом для аномальной размерности. Их точное совпадение, а также явные выражения для D -функции и аномальной размерности являются одним из главных результатов работы. Также важным является и построение во всех порядках схемы вычитаний, в которой указанное точное соотношение выполняется и в терминах перенормированной константы связи.

Во второй главе β -функция $N = 1$ суперсимметричной теории Янга—Миллса с материей вычисляется в трехпетлевом приближении с использованием регуляризации высшими ковариантными производными. Поскольку полное вычисление очень трудоемко, в работе вычисляется только часть, квадратичная по юкавским константам. Такое вычисление проводится с целью разрешить противоречие между точным результатом НШВЗ и результатами теории возмущений. Это противоречие действительно разрешается, причем опять в том случае, когда β -функция и аномальные размерности определены в терминах голых величин. В методе фонового поля для вкладов в β -функцию удастся установить соотношение, связывающее их с вкладами в аномальную размерность суперполей материи и квантового калибровочного суперполя. Оно является частным случаем более общего соотношения, в котором кроме этих аномальных размерностей фигурирует еще и аномальная размерность духов Фаддеева—Попова и из которого можно получить НШВЗ β -функцию. Проверка его справедливости в трехпетлевом приближении представляется важнейшим результатом данной работы, поскольку позволяет понять, как НШВЗ β -функция возникает из структуры супердиаграмм и их вкладов.

В третьей главе автор вычисляет калибровочно зависимую часть однопетлевого поляризационного оператора квантового калибровочного суперполя с использованием регуляризации высшими ковариантными производными. Эта глава фактически является вспомогательной, поскольку

полученный в ней результат позволил в однопетлевом приближении заметить новое свойство теории, впоследствии сформулированное как теорема о неперенормировке вершин с одной линией квантового калибровочного суперполя и двумя линиями духов Фаддеева—Попова и доказанное в последующих работах во всех порядках теории возмущений.

В четвертой главе автор исследует структуру вкладов в β -функцию $N = 1$ суперсимметричной квантовой электродинамики. Ранее было установлено, что вклады в β -функцию этой теории даются интегралами от двойных полных производных. Причем эти вклады можно построить по вкладам в двухточечные функции Грина суперполей материи с помощью тождества, полученного на основе уравнений Швингера—Дайсона во всех порядках теории возмущений. Здесь автор проверяет справедливость этого тождества в трехпетлевом приближении, одновременно получая в явном виде выражения для интегралов от двойных полных производных, составляющих β -функцию. Полученные результаты были использованы при вычислении D -функции Адлера суперсимметричной квантовой хромодинамики в первой главе.

В Заключение еще раз формулируются основные выводы по результатам работы.

Наиболее заметным недостатком диссертации представляется отсутствие подробного обсуждения возможности обобщения полученных результатов на случай нарушенной суперсимметрии, который представляет наибольший физический интерес.

Это замечание не снижает общую высокую оценку проделанной автором работы и научной ценности полученных в диссертации результатов.

Представленные в диссертации результаты являются новыми, а диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Можно утверждать, что исследования, проведенные автором в диссертации, представляют собой законченное научное исследование.

Содержание и выводы диссертации достаточно полно отражены в автореферате. Результаты работы были опубликованы в достаточном числе рецензируемых научных изданий, индексируемых в базах Web of Science, Scopus и RSCI, и представлены на нескольких международных конференциях. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений, так как они получены с использованием строгих и хорошо проверенных методов квантовой теории поля. Кроме того, там, где это возможно, результаты сравнивались с результатами вычислений в размерной редукции в схеме модифицированных минимальных вычитаний и оказались в полном согласии с последними с точностью до конечных перенормировок.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.02 — «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 Казанцев Александр Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — «теоретическая физика».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
отдела теоретической физики высоких энергий
ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова»,
Научно-исследовательский институт
ядерной физики имени Д.В. Скобельцына,
Волобуев Игорь Павлович



4 мая 2018 г.

Контактные данные:

тел.: +7 495 939 35 72, e-mail: volobuev@theory.sinp.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.02 – Теоретическая физика

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, дом 1, строение 2, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына, отдел теоретической физики высоких энергий

Тел.: +7 495 939 35 72; e-mail: volobuev@theory.sinp.msu.ru

Подпись ведущего научного сотрудника отдела теоретической физики высоких энергий ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына, И.П. Волобуева удостоверяю:

Уполномоченный секретарь НИИЯФ МГУ



Семашкина Е.А.