

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**доктора физико-математических наук**  
**Степаньянца Константина Викторовича**  
**на тему: «Точная  $\beta$ -функция  $\mathcal{N} = 1$  суперсимметричных калибровочных**  
**теорий и регуляризация высшими ковариантными производными»**  
**по специальности 01.04.02 – «теоретическая физика»**

Представленная диссертация посвящена исследованию перенормировочной процедуры в суперсимметричных калибровочных теориях. Несмотря на то, что этой теме в последние 30 лет посвящено много исследований, всё ещё остаются нерешённые проблемы. Одна из них связана с выбором регуляризации. Дело в том, что широко применяемая для многопетлевых расчётов размерная регуляризация, явным образом нарушает суперсимметрию и не подходит для анализа точных формул наподобие обсуждаемой в диссертации NSVZ бета-функции. Другая популярная регуляризация методом размерной редукции также нарушает суперсимметрию в высших петлях. Используемая же автором регуляризация высшими производными, хотя и сохраняет суперсимметрию, но долгое время считалась непригодной для многопетлевых расчётов в силу своей сложности. Поэтому, безусловным достижением автора явилась демонстрация возможности проводить расчёты многопетлевых диаграмм, а также вывод основных формул, используя такую регуляризацию. Он открыл новые возможности для изучения квантовых поправок в суперсимметричных теориях. Это стало особенно востребованным, поскольку в последнее время возникли совершенно новые подходы к вычислению амплитуд рассеяния в суперсимметричных теориях и появились результаты, выходящие за рамки обычной теории возмущений.

Диссертация К.В.Степаньянца состоит из 11 глав. Первая глава представляет собой введение, где обосновывается актуальность темы

исследования, приводится общая характеристика работы, описываются используемые методы, формулируются положения, выносимые на защиту. Главным объектом исследования в диссертации является точная NSVZ бета-функция как в абелевом, так и в неабелевом случае, а также в теории с расширенной суперсимметрией.

Сначала автор рассматривает абелеву суперсимметричную калибровочную теорию. Этому посвящены Главы 2 и 3. В последнем случае рассматривается теория с мягко нарушенной суперсимметрией. Здесь дается всепетлевой вывод NSVZ соотношения с помощью явного суммирования ряда теории возмущений и показано, что следствием этого является то, что оно справедливо для величин определенных в терминах перенормированной константы связи в схеме регуляризации высшими производными и минимальным вычитанием логарифмов (HD+MSL) во всех порядках теории возмущений.

Далее в Главе 4 автор описывает неабелевые теории, обсуждает тождества Славнова-Тейлора и связь между голыми и перенормированными величинами в рамках схемы HD+MSL. Последующие главы посвящены неабелевым теориям, прежде всего суперсимметричной КХД. Сначала автор выводит всепетлевое NSVZ-подобное выражение для  $D$ -функции Адлера в  $\mathcal{N}=1$  суперсимметричной КХД, взаимодействующей с абелевым калибровочным суперполем. Затем доказывает теорему о неперенормировке тройных духово-калибровочных вершин и с помощью её выводит новую форму NSVZ соотношения, которая используется в последующих разделах для вывода формулы NSVZ. Глава 7 носит технический характер, здесь изучаются вакуумные диаграммы и соответствующие им интегралы, используемые в дальнейшем для вычисления NSVZ бета-функции. Общие утверждения, доказанные в предыдущих главах, проверяются явными вычислениями в низших порядках теории возмущений. В частности, с использованием метода построения интегралов от двойных полных производных, описанного в Главе 7, вычисляется двухпетлевая  $\beta$ -функция

для произвольной перенормируемой  $\mathcal{N} = 1$  суперсимметричной калибровочной теории с простой калибровочной группой.

И, наконец, в последних главах рассмотрена теория с расширенной суперсимметрией, и регуляризация высшими ковариантными производными строится в гармоническом суперпространстве, использование которого позволяет сделать  $\mathcal{N} = 2$  суперсимметрию явной на всех этапах вычисления квантовых поправок.

Основным результатом диссертационного исследования является всепетлевой вывод NSVZ  $\beta$ -функции с помощью прямого вычисления квантовых поправок и построение всепетлевого предписания, дающего одну из NSVZ схем. Надо отметить важность данного результата. Во-первых, решена давно назревшая задача построения явной схемы вычислений, которая приводит к NSVZ  $\beta$ -функции, во-вторых, развит метод вычисления многопетлевых диаграмм, который сохраняет как обычную, так и расширенную суперсимметрию. Тем самым предложен формализм, в котором все преимущества суперсимметричной теории можно проследить в явном виде. Это подводит базу под различными построениями и вычислениями в суперсимметричных теориях, где вопрос об их строгой обоснованности всегда упирался в проблему инвариантной регуляризации.

Возвращаясь к диссертации как таковой, следует отметить аккуратное и подробное изложение материала, весьма полный список литературы. У меня нет замечаний к представленным результатам по существу, они являются достоверными и неоднократно докладывались на семинарах и авторитетных конференциях и хорошо известны специалистам. Автором проделана большая и квалифицированная работа.

К недостаткам диссертации я бы только отнёс некоторое многословие, диссертация составляет более 300 страниц. Это же относится к публикациям, 36 плюс 14 трудов конференций, которые в целом повторяют опубликованные работы.

Указанное замечание не умаляет значимости диссертационного исследования. 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 Степаньянц Константин Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «теоретическая физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор,  
директор Лаборатории теоретической физики Объединённого института  
ядерных исследований  
Казаков Дмитрий Игоревич

12.10.2021

Контактные данные:

тел.: 8 49621 65687, e-mail: kazakovd@theor.jinr.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация: 01.04.02 – «теоретическая физика»

Адрес места работы:

1419809, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6, ОИЯИ, ЛТФ  
Тел.: 8 49621 63695; e-mail: bltp@theor.jinr.ru

Подпись сотрудника ЛТФ ОИЯИ Казакова Д. И.  
удостоверяю:

Учёный секретарь ЛТФ ОИЯИ

А.В. Андреев

12.10.2021