

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Математический институт
им. В.А. Стеклова
Российской академии наук
(МИАН)

ул. Губкина, д. 8, Москва, 119991

Тел.: +7(495) 984 81 41

Факс: +7(495) 984 81 39

<http://www.mi-ras.ru>

E-mail: steklov@mi-ras.ru

ОКПО 02699547 ОГРН 1027739665436

ИНН/КПП 7736029594/773601001

24.09 2026 № 11102-2171/257
на № _____ от «___» _____ 202__

УТВЕРЖДАЮ

Директор Математического института
им. В. А. Стеклова Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,
академик РАН

Д. В. Трещев
2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации — Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Математического института им. В. А. Стеклова

Российской академии наук

на диссертацию Ушакова Кирилла Александровича

«Анализ мультичастичных обобщений теорий высших спинов»,

представленную на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук по специальности

1.3.3 — «Теоретическая физика»

Актуальность темы диссертационной работы

История теорий высших спинов насчитывает уже более полувека. Отправной точкой принято считать работы Фронсдала 1970-х годов, в которых были построены калибровочно-инвариантные уравнения для полей произвольного спина в пространстве анти-де Ситтера, а также более позднюю формулировку Фанга и Фронсдала, охватившую как целые, так и полуцелые спины. Эти уравнения, однако, формулировались для отдельных полей и не давали единой картины их взаимодействия. Следующий принципиальный шаг был сделан М.А. Васильевым и сотрудниками, предложившими развёрнутую формулировку, в которой бесконечное семейство полей высших спинов объединяется в единую систему, а калибровочная симметрия приобретает вид алгебры высших спинов. Возникла естественная задача: как устроено пространство состояний такой системы, какие поля в нём независимы, а какие представляют собой калибровочные поля или не динамические вспомогательные поля.

В последние два десятилетия значительное внимание привлекают обобщения этой конструкции, в которых стандартная алгебра высших спинов заменяется на более широкую, порождённую конечными группами Кокстера. Интерес к таким моделям

связан, в частности, с гипотезой о происхождении массивных струнных состояний в фазе с нарушенной симметрией. Однако прежде чем обсуждать подобный сценарий, необходимо решить более скромную, но принципиальную задачу — выяснить состав расширенной системы. Для оценки новой теории фундаментальных взаимодействий недостаточно установить согласованность её уравнений. Необходимо выяснить, какие поля за ними стоят, каким ограничениям они подчиняются и какие из них допускают интерпретацию в терминах физических состояний. В теориях с высшими спинами эта задача особенно нетривиальна: компактная запись уравнений объединяет бесконечное число компонент, среди которых требуется отделить самостоятельные переменные от вспомогательных, другими словами динамические от нединамических.

Именно такая проблема возникает при расширении стандартной теории высших спинов с помощью конечных групп Кокстера. Работа К. А. Ушакова посвящена структуре представлений B_2 -модели и извлечению её полевого содержания. Полученные результаты необходимы для дальнейшего исследования вакуумов с нарушенной симметрией высших спинов.

Содержание работы

Диссертация объемом 165 страниц включает введение, три главы, заключение и два приложения; библиография насчитывает 151 источник. Логика исследования состоит в переходе от подробно изученной стандартной системы к расширению, где требуется заново установить как состав полей, так и свойства пространств, в которых они принимают значения.

Первая глава дает исходный инструмент такого перехода. Автор рассматривает σ_- -когомологии, позволяющие выделить независимые калибровочные параметры, примарные поля и калибровочно-инвариантные дифференциальные операторы на них. Построение обобщенного лапласиана и исследование его ядра позволяют получить явные тензорные выражения в пространстве Минковского произвольной размерности и мультиспинорные выражения в четырехмерном пространстве анти-де Ситтера. В последнем случае исследуются также поля полуцелого спина. Полученное соответствие с описанием Фронсдала и Фанга–Фронсдала дает иной способ доказательства теоремы доказанной Г. Барничем, М. Григорьевым, А. Семихатовым и И. Типуниным, известной в литературе как Первая теорема о массовой оболочке.

Во второй главе выясняется структура и свойства представлений, описываемых в рамках кокстеровского расширения теории высших спинов. Сформулировано проверяемое для матриц отражений условие, при котором модуль кокстеровски расширенной теории приводится к тензорному произведению стандартных модулей высших спинов. Необходимость и достаточность этого условия установлены в классе линейных преобразований осцилляторов. Это дает способ отличить распутываемые модули от модулей, для которых линейная замена осцилляторов не устраняет смешивание.

Для группы B_2 исследование продолжено с использованием модулей Фока и комплексных преобразований Боголюбова. Выяснено, какие модули имеют комплексно-эквивалентный унитарный модуль старшего или младшего веса. Предложено сочетание граничных условий на ноль-формы и ограничения по автоморфизму четности, позволяющее получить унитарный подсектор на линейном уровне.

Третья глава показывает, к каким полям приводит найденная алгебраическая структура. Для один-форм, принимающих значения в тензорном квадрате присоединенного модуля, выделены компоненты безмассовых полей спинов от единицы и выше, а также частично-безмассовых полей с каждой допустимой глубиной. Каждому типу поля отвечает бесконечная кратность. Организовать эти копии позволяет дополнительная алгебра, коммутирующая с алгеброй изометрий пространства анти-де Ситтера.

В секторе ноль-форм — тензорном произведении твистованно-присоединенного и присоединенного модулей — устройство пространств кратностей оказывается иным: в них возникают нерасщепляемые расширения модулей Верма. Анализ связывающей один-формы и ноль-формы линейной вершины на примерах младших спинов выявляет зависимость ее динамического содержания от веса относительно одной из компонент коммутирующей алгебры. Интересно, что после унитарной редукции частично-безмассовые поля становятся нединамическими.

Научная новизна и значение результатов

Самостоятельная ценность первого результата состоит в возможности перейти от общей характеристики σ_- -когомологий к явным формулам, пригодным для последующего анализа уравнений. Это создает надежную основу для сравнения стандартной теории высших спинов с более сложными системами.

В исследовании кокстеровского расширения новыми являются как классификационные результаты, так и способ их получения. Вместо рассмотрения отдельных преобразований, упрощающих конкретное уравнение, предложена единая процедура определения типа модуля и проверки существования его унитарного партнера.

Существенный результат работы — установление динамического содержания B_2 -теории. Появление бесконечного числа копий безмассовых и частично-безмассовых полей представляет интерес с точки зрения предстоящей в будущем реализации аналога механизма Хиггса для полей высших спинов.

В совокупности эти результаты переводят обсуждение B_2 -расширения от его формального определения к анализу конкретных условий, необходимых для физической интерпретации. Эти выводы имеют самостоятельное значение для теории калибровочных полей. Установление связи со струнами остается задачей последующих исследований.

Обоснованность и достоверность научных результатов

Автором было опубликовано 3 статьи в международных реферируемых журналах, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus. Все основные и промежуточные результаты диссертационной работы многократно представлялись на отечественных и международных конференциях и семинарах.

Теоретическая и практическая значимость

Полученные результаты могут найти применения в исследованиях, затрагивающих теорию высших спинов, теорию струн и моделях, основанных на развернутых системах. Предложенные осцилляторные реализации представлений и кокстеровских развернутых уравнений могут полезны для выяснения физической интерпретации развернутых систем.

Замечания по диссертации

- Замечание касается терминологии. В диссертации английскому термину "higher-spin fields" сопоставлен термин "вышеспиновые поля". Термин "поля высших спинов", по-моему, более удачный.
- Хотелось бы видеть роль разработанных методов для анализа AdS/CFT голографии в духе Габердила и Гопакумара.

Заключение по работе

Диссертационная работа Ушакова Кирилла Александровича выполнена на высоком научном уровне и вносит значительный вклад в исследование расширенных теорий высших спинов. Полученная совокупность результатов решает научную задачу, имеющую значение для развития теоретической физики: она устанавливает структуру рассматриваемых расширенных систем с высшими спинами и условия интерпретации их линейных секторов. Это является важным этапом в реализации и понимании механизма Хиггса для полей с высшими спинами и установлении предполагаемой связи с теорией струн.

Диссертация Ушакова Кирилла Александровича «Анализ мультичастичных обобщений теорий высших спинов» отвечает критериям научно-квалификационной работы на соискание степени кандидата наук, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Автор диссертационной работы Ушаков Кирилл Александрович безусловно заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — «Теоретическая физика».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании отдела теоретической физики Математического института им. В. А. Стеклова Российской академии наук 16 сентября 2026 г., протокол № 1.

Отзыв составила:

главный научный сотрудник отдела теоретической физики МИАН,
доктор физико-математических наук, профессор,
член-корреспондент РАН

Е-mail: arefeva@mi-gas.ru

Ирина Ярославна Арефьева

Заведующий отделом теоретической физики МИАН,
доктор физико-математических наук

Андрей Владимирович Зотов

Подпись И. Я. Арефьевой заверяю:

[Ученый секретарь]

[к. ф.-м. н. Поликарпов Сергей Алексеевич]

24 сентября 2026 г.

**Список основных публикаций работников организации по теме диссертации соискателя
в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15):**

1. Aref'eva I. Y., Volovich I. V., Stepanenko D. O. Black brane/Bose gas duality and the third law of thermodynamics //Theoretical and Mathematical Physics. – 2025. – Т. 222. – №. 2. – С. 276-284.
2. Irina Ya. Aref'eva, Ali Hajilou, Pavel Slepov, Marina Usova, Beta-functions and RG flows for holographic QCD with heavy and light quarks: Isotropic case //Physical Review D. – 2025. – Т. 111, С. 046013
3. Irina Ya. Aref'eva, Ali Hajilou, Alexander Nikolaev, Pavel Slepov, Jet quenching in holographic QCD as an indicator of phase transitions in anisotropic regimes //Physical Review D. – 2025. – Т. 112 - С.126007
4. Irina Ya. Aref'eva, Ali Hajilou, Alexander Nikolaev, Pavel Slepov, “Holographic QCD running coupling for heavy quarks in strong magnetic field”, Eur. Phys. J. C, Part. Fields, 85 (2025), 1167, 10 pp.
5. Ageev D. S., Aref'eva I. Y., Rusalev T. A. Black holes, cavities, and blinking islands //Physical Review D. – 2025. – Т. 111. – №. 2. – С. 026002.
6. Aref'eva I. Y., Volovich I. V. Bose gas modeling of the Schwarzschild black hole thermodynamics //Theoretical and Mathematical Physics. – 2024. – Т. 218. – №. 2. – С. 192-204.
7. Aref'eva I., Volovich I. Violation of the third law of thermodynamics by black holes, Riemann zeta function and Bose gas in negative dimensions //The European Physical Journal Plus. – 2024. — Т. 139. — № 3. — С. 300.
8. Irina Ya. Aref'eva, Ali Hajilou, Alexander Nikolaev, Pavel Slepov, “Holographic QCD running coupling for light quarks in strong magnetic field”, //Physical Review D. – 2024.-Т. 110,- №. 8. - С. 086021
9. Irina Ya. Aref'eva, Ali Hajilou, Pavel Slepov, Marina Usova, Running coupling for holographic QCD with heavy and light quarks: Isotropic case, //Physical Review D. – 2024- Т. 110-№. 12- С.126009
10. Ageev D. S., Aref'eva I.Y., Belokon A.I., Ermakov A.V., Pushkarev V.V., Rusalev T.A. Infrared regularization and finite size dynamics of entanglement entropy in Schwarzschild black hole //Physical Review D. – 2023. – Т. 108. – №. 4. – С. 046005.
11. Irina Ya. Aref'eva, Alexey Ermakov, Kristina Rannu, Pavel Slepov, “Holographic model for light quarks in anisotropic hot dense QGP with external magnetic field”, Eur. Phys. J. C, Part. Fields, 83 (2023), 79, 21 pp
12. Irina Ya. Aref'eva, Ali Hajilou, Kristina Rannu, Pavel Slepov, “Magnetic catalysis in holographic model with two types of anisotropy for heavy quarks”, Eur. Phys. J. C, Part. Fields, 83 (2023), 1143, 28 pp.
13. Ageev D. S., Aref'eva I. Y. Thermal density matrix breaks down the Page curve //The European Physical Journal Plus. — Т. 137. — № 10. — С. 1188. — 15 с.
14. Aref'eva I. Y., Volovich I. V., Rusalev T. A. Entanglement entropy of a near-extremal black hole //Theoretical and Mathematical Physics. – 2022. – Т. 212. – №. 3. – С. 1284-1302.