

## ОТЗЫВ

Официального оппонента, доктора физико-математических наук  
Юрия Михайловича Зиновьева, на диссертацию Ушакова Кирилла Александровича  
«Анализ мультичастичных обобщений теорий высших спинов»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.3 – теоретическая физика.

Исследование полей с высшими спинами представляет собой одно из актуальных направлений в области фундаментальных взаимодействий. С одной стороны такие теории представляют собой дальнейшее расширение моделей супергравитации, в надежде на то, что бесконечномерных симметрий окажется достаточно для того, чтобы справиться с расходимостями гравитации и построить перенормируемую или даже конечную квантовую гравитацию. С другой стороны важным вопросом является связь с теорией суперструн, спектр которой с необходимостью содержит бесконечное число массивных полей высших спинов. Наконец огромный интерес в последние годы вызывает так называемое АДС/КТП соответствие, в котором поля высших спинов возникают естественным образом.

Возможность спонтанного нарушения симметрии и появления массивных полей требует существенного расширения спектра безмассовых полей по сравнению со стандартной теорией Васильева. В качестве кандидатов на такое расширение рассматриваются варианты, основанные на алгебрах Кокстера, среди которых перспективной считается вариант, основанный на алгебре Кокстера  $B_2$ . Первоочередной задачей при этом является анализ спектра полей (как в секторе один-форм, так и секторе ноль-форм) и их динамического содержания, определяемого "склеиванием" этих секторов. Эффективным способом решения этой задачи является т.н. кохомологический анализ.

Этой актуальной задаче и посвящена диссертация Ушакова К. А.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Во **введении** обсуждается актуальность темы, цели и задачи исследований, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость результатов, методы исследований апробация результатов.

**Первая глава** посвящена кохомологическому анализу развернутых уравнений на примере безмассовых симметричных полей. Такой анализ позволяет полностью определить динамическое содержание системы, описываемой развернутыми уравнениями: динамические поля, их калибровочные преобразования, калибровочно инвариантные дифференциальные операторы и тождества на них. В тензорном формализме анализ проведен для случая полей в пространстве Минковского произвольной размерности, а для случая пространства  $AdS_4$  был использован мультиспинорный формализм, что не только сильно упростило вычисления, но и позволило рассмотреть как бозонный, так и фермионный случай. В целом это дает альтернативное доказательство т.н. первой теоремы о массовой оболочке, которая играет важную роль.

**Вторая глава** посвящена сектору ноль-форм в расширении стандартной теории высших спинов, основанном на алгебрах Кокстера. В общем случае показано, что модули таких теорий делятся на два типа: распутываемые и запутанные. Первые эк-

вивалентны прямым произведениям присоединенного ( $adj$ ) и твистованного присоединенного ( $tw$ ) модулей обычной теории, при этом вторые требуют дальнейшего исследования. Был сформулирован критерий распутываемости. Дальнейший анализ проводился для случая алгебры Кокстера  $B_2$ , которая считается наиболее перспективной. Было показано, что существуют распутываемые модули четырех категорий:  $(tw \otimes tw)$ ,  $(tw \otimes adj)$ ,  $(adj \otimes tw)$  и  $(adj \otimes adj)$ . Показано, что первый модуль имеет унитарный комплексно-эквивалентный модуль, в то время как три других имеют унитарные комплексно-эквивалентные подмодули, которые можно выделить с помощью соответствующих граничных условий. Наконец показано, что унитаризация по автоморфизму четности ограничивает ноль-формы модулями  $(tw \otimes adj)$  и  $(adj \otimes tw)$ . Стоит отметить, что весь анализ проводился на линейном уровне.

**Третья глава** посвящена анализу динамического содержания расширенной теории, основанной на алгебре Кокстера  $B_2$  на фоне  $AdS_4$ . Когомологический анализ сектора один-форм в модуле  $(adj \otimes adj)$  показал, что модуль содержит бесконечный набор безмассовых и частично безмассовых полей со всеми возможными глубинами безмассовости. Поскольку частично безмассовые поля не унитарны в  $AdS_4$  при унитаризации остаются только безмассовые поля. Аналогичный анализ был проведен для сектора ноль-форм в модулях  $(adj \otimes tw)$  и  $(tw \otimes adj)$  где спектр полей оказался весьма широким. Для выявления динамического содержания теории начат анализ "склеивания" секторов один-форм и ноль-форм, когда ноль-формы призваны играть роль обобщенных тензоров Вейля. Эта задача требует продолжения исследований.

В **заклучении** приведены основные результаты диссертации, их практическая значимость и возможные направления дальнейших исследований.

Диссертация выполнена на высоком физическом и математическом уровне по актуальной тематике. Полученные результаты являются новыми, они полностью обоснованы, опубликованы в ведущих международных научных журналах и докладывались на нескольких научных семинарах и конференциях. Достоверность результатов обусловлена использованием современного математического аппарата теоретической физики.

Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

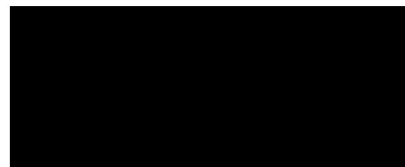
Некоторые замечания.

- Когомологический анализ начинается с выбора градуировки, что играет важную роль для всего анализа. Выбор градуировки, сделанный в третьей главе для секторов один-форм и ноль-форм не вполне очевиден, поэтому полезно было бы привести обоснование.
- В стандартной теории высших спинов сектор ноль-форм содержит примарные скалярные и спинорные поля. Было бы интересно определить спектр таких полей для  $B_2$  теории. Интерес связан с возможностью спонтанного нарушения симметрии поскольку калибровочно инвариантное описание массивных бозонов и фермионов содержит соответствующие примарные скаляры или спиноры соответственно.
- В нескольких местах главы 3 встречается обозначение  $X^{\alpha\dot{\alpha}(r)}$ , которое правильно было бы писать как  $(X^{\alpha\dot{\alpha}})^r$ .

Однако, отмеченные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы и не снижают научное значение полученных результатов.

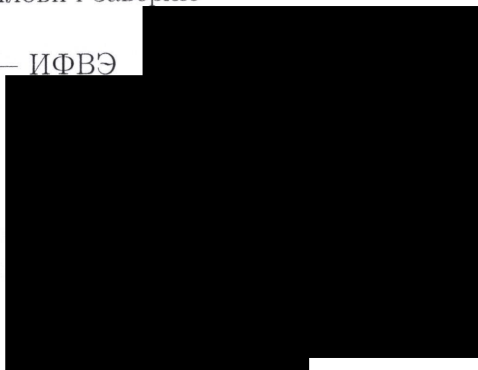
Учитывая вышесказанное, считаю, что рассматриваемая диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Кирилл Александрович Ушаков, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — теоретическая физика.

Официальный оппонент:  
Зиновьев Юрий Михайлович,  
доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник  
НИИЦ "Курчатовский Институт" — ИФВЭ  
Протвино, Моск. обл., площадь Науки, д.1  
email: yurii.zinoviev@ihep.ru



15 сентября 2026 г.

Подпись Зиновьева Юрия Михайлович заверяю  
Ученый секретарь  
НИИЦ "Курчатовский Институт" — ИФВЭ



Н. Н. Прокопенко

Список основных публикаций официального оппонента Зиновьева Ю. М.  
в рецензируемых научных изданиях по тематике диссертации  
Ушакова К. А. за последние пять лет.

1. M. V. Khabarov, Yu. M. Zinoviev  
"On massive higher spins in  $d=3$ ",  
JHEP **04** (2022) 055.
2. Yu. M. Zinoviev  
"Massless spin 2 interacting with massive higher spins in  $d=3$ ",  
JHEP **03** (2023) 058.
3. Yu. M. Zinoviev  
"On massive higher spin supermultiplets in  $d=3$ ",  
Nucl. Phys. B **996** (2023) 116351.
4. Yu. M. Zinoviev  
"On hypersymmetry in three dimentionions"  
JHEP **10** (2023) 162.
5. Yu. M. Zinoviev  
"On massive higher spin supermultiplets in  $d = 4$ "  
JHEP **10** (2024) 222.
6. Yu. M. Zinoviev  
"On the Fradkin-Vasiliev formalism in  $d = 4$ "  
Nucl. Phys. **1012** (2025) 116839.
7. Yu. M. Zinoviev  
"Partially massless spin 2 and supersymmetry"  
JHEP **04** (2025) 019.
8. Yu. M. Zinoviev  
"Partially massless spin  $5/2$  and supersymmetry"  
JHEP **06** (2025) 046.
9. Yu. M. Zinoviev  
"On massive higher spins and gravity. IV. Arbitrary spin"  
JHEP **06** (2026) 088.