

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора Евгения Алексеевича Иванова о диссертации Александра Андреевича Тарусова «Развернутые уравнения и их применение в пертурбативном анализе уравнений высших спинов и их мультичастичных обобщений», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — теоретическая физика.

Теории полей высших спинов описывают взаимодействующие системы, включающие гравитацию и бесконечную башню калибровочных полей возрастающих спинов. Их исследование представляет значительный интерес в связи с проблемой квантовой гравитации и предполагаемой связью со струнной теорией, по отношению к которой теория высших спинов может соответствовать специальному высокосимметричному пределу.

Построение взаимодействий полей высших спинов, однако, оказывается существенно более сложной задачей, чем для полей низших спинов. Наиболее развитое описание взаимодействующей динамики дается нелинейными уравнениями Васильева. Важную роль в их формулировке играет развернутый подход, в котором динамические уравнения записываются как дифференциальные условия первого порядка на расширенный набор полей. Такой язык позволяет единообразно описывать поля различных спинов, их симметрии и взаимодействия и при этом переводит многие вопросы динамики в геометрическую и когомологическую форму. Поэтому дальнейшее развитие методов работы с развернутыми системами представляет интерес не только непосредственно для теории высших спинов, но и для более общего понимания структуры калибровочных теорий.

Развёрнутый подход Васильева может рассматриваться как самостоятельное направление в теории высших спинов. В настоящее время его разработка включает две тесно связанных сюжета. Во-первых, это дальнейшее углубление и совершенствование математических и физических основ его исходного варианта. Во-вторых, это его расширение путём добавления новых полей и физических принципов. Такое расширение необходимо, в частности, для прояснения связей с теорией струн. Диссертация Александра Андреевича Тарусова вносит существенный вклад в обе эти составляющие общего развёрнутого подхода.

Одной из принципиальных трудностей взаимодействующей теории высших спинов является проблема локальности. Уравнения в развернутой форме содержат значительную свободу, связанную, в частности, с разрешением зависимости от вспомогательных переменных и с выбором гомотопических операторов. Различные способы использования этой свободы могут приводить к существенно различающимся представлениям вершин взаимодействия. Поэтому поиск таких гомотопических схем, которые позволяют контролировать локальные свойства получаемых взаимодействий, является важной компонентой пертурбативного анализа уравнений высших спинов.

Еще одно перспективное направление относится ко второму кругу задач, упомянутых выше. Оно связано с мультичастичными расширениями теорий высших спинов. Такие расширения естественным образом увеличивают алгебру наблюдаемых и могут включать новые сектора, отсутствующие в исходной теории. В частности, конструкции, основанные на группах Кокстера, дают систематический способ построения подобных обобщений. Их исследование представляет интерес как с точки зрения внутренней структуры теории высших спинов, так и в связи с вопросом о связи высших спинов с более богатыми теориями струнного типа.

Диссертация Александра Андреевича Тарусова посвящена развитию развернутых методов и их применению к нескольким взаимосвязанным задачам теории высших спинов,

относящимся как к первому, так и второму из вышеуказанных направлений. В работе исследуется вариационная структура общих развернутых систем, развивается техника сдвиговых гомотопий, существенная для анализа локальности взаимодействий в четырехмерной теории высших спинов, а также изучаются мультичастичные обобщения, построенные на основе групп Кокстера. Таким образом, рассматриваемые в диссертации задачи объединены общей методологией и направлены на дальнейшее развитие как математического аппарата развернутых систем, так и его физических приложений.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав основного текста, заключения и двух приложений. Список литературы содержит 111 наименований.

Во **введении** подробно обсуждаются **актуальность** работы, место развернутого формализма в теории высших спинов, проблема локальности и мотивация исследования мультичастичных и кокстеровских расширений, сформулированы цели, задачи и положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** автор развивает вариационный формализм для развернутых систем. Лагранжевость и условия выхода на массовую оболочку формулируются в когомологических терминах, и получен глобальный критерий решения обратной вариационной задачи.

Во **второй главе** исследуется свобода выбора сдвиговой гомотопии в четырехмерной теории высших спинов. Найден более широкий класс допустимых сдвигов и новое однопараметрическое семейство ультралокальных линейных вершин на фоне AdS_4 ; также показана тривиальность чистых сдвигов по аргументам ω .

В **третьей главе** разработанная техника применяется к теориям высших спинов, расширенным группами Кокстера. Построен фон AdS_4 и получены линейные вершины для общего случая, а для модели B_2 подробно исследованы унитарные подсекторы и новые сектора расширенной теории.

В **заключении** суммированы основные результаты диссертационной работы. **Приложения** содержат дополнительные технические детали, связанные с вариационным бикомплексом и редукцией кокстеровской модели B_2 к унитарным подмодулям.

С моей точки зрения наиболее важные результаты работы состоят в следующем:

1. Построен вариационный формализм непосредственно на пространстве-мишени развернутой системы. Введение вариационных переменных и дополнительного дифференциала позволило сформулировать лагранжевость и условия массовой оболочки в когомологических терминах и получить критерий решения обратной вариационной задачи.
2. Расширен класс допустимых сдвиговых гомотопий в линейном анализе четырехмерной теории высших спинов. Найдено новое однопараметрическое семейство ультралокальных вершин, сохраняющих вид свободных уравнений на фоне AdS_4 , и выделен класс чистых ω -сдвигов, не приводящих к физически новым вершинам.
3. Проведен линейный анализ теорий высших спинов, расширенных группами Кокстера. Для группы общего положения построено единственное вложение фона AdS_4 и получены линейные вершины с помощью обобщенной сдвиговой гомотопии. Для модели B_2 явно исследованы полученные в унитарных подсекторах уравнения, что создает необходимую основу для анализа нелинейной теории и ее возможной связи с мультичастичными расширениями и теорией струн.

Диссертация выполнена на высоком физическом и математическом уровне и представляет собой целостное исследование развернутых методов с последовательным

переходом от общих вопросов вариационного принципа к конкретным задачам теории высших спинов и ее расширений. Полученные результаты являются **новыми** и хорошо **обоснованными**. Основные результаты опубликованы в трех статьях в ведущих международных журналах и докладывались на научных семинарах и конференциях. **Достоверность** результатов обеспечивается корректным использованием алгебраических и кохомологических методов, а также прямыми проверками совместности полученных уравнений и их соответствия известным пределам. Основные положения и выводы, сформулированные во введении и заключении, согласуются с содержанием глав диссертации. Методы и технические приёмы, разработанные в диссертации, могут найти применения в сходных исследованиях по теориям высших спинов, проводимых в ФИАН, МИАН, ЛТФ ОИЯИ и других научных учреждениях как в РФ, так и за рубежом. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

По результатам хотелось бы высказать следующие замечания:

1. Характерная общая черта диссертации – незначительное количество нетривиальных примеров, которые позволили бы читателю полностью осознать практическую ценность важных общих критериев и теорем, выведенных автором. В частности, в Главе 1 есть только один такой пример – теория свободного скалярного поля.
2. Существенную роль в конструкциях, описанных в диссертации, играет интерпретация вариаций таргетных полей как новых независимых полей. В обычной теории поля, а также в лагранжевых формулировках суперструн (Виттен, Халл и др.), в этом нет необходимости. Я не нашёл чёткого ответа в диссертации, почему такая интерпретация неизбежна в развернутом подходе.
3. В Главе 2 для получения вершин взаимодействия высших спинов в рамках теории возмущений предлагается новый вид оператора сдвиговой гомотопии по сравнению с известными ранее. Однако в подразделе 2.7 нет окончательных выводов о том, чем предложенная более общая гомотопия выделена среди ранее использованных схем (например, описанных в [34]), и что принципиально нового она даёт.
4. Некоторым формальным недостатком диссертации является обилие очень громоздких формул, занимающих несколько страниц текста (например, стр. 52 -55, 84 -89), без хотя бы краткого путеводителя по ним. Кроме того, в ряде случаев нет определения используемых в тексте терминов – видимо, в предположении, что читатель обязан быть знаком с ними. Например, нет определения «обрамленной алгебры Чередника» в разд. 3.1.1, «формул звёздочного обмена» (стр.75), для оператора гомотопий используются термины «стягивающий» и «сжимающий» (разд. 3.3.1), что, видимо, одно и то же, и т.п.
5. В тексте диссертации и автореферата встречаются отклонения от правил грамматики и синтаксиса.

Однако эти замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы и не снижают научного значения полученных результатов. Их следует рассматривать прежде всего как вопросы, задающие направления возможного развития проведённого исследования, и как ресурсы улучшения изложения в дальнейших публикациях.

Учитывая вышесказанное, считаю, что диссертационная работа Александра Андреевича Тарусова «Развернутые уравнения и их применение в пертурбативном анализе уравнений

высших спинов и их мультичастичных обобщений» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 — теоретическая физика.

Официальный оппонент:

Иванов Евгений Алексеевич,
доктор физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник Лаборатории теоретической
физики имени Н.Н. Боголюбова
Объединенного института ядерных исследований
Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6
email: eivanov@theor.jinr.ru

18 сентября 2026 г.

Подпись Иванова Евгения Алексеевича заверяю

Учёный секретарь ЛТФ им. Н.Н. Боголюбова,
Объединенного института ядерных исследований,
кандидат физико-математических наук
«18» сентября 2026 г.

А. В. Андреев

Список основных научных публикаций по специальности 1.3.3. – Теоретическая физика за последние 5 лет:

1. Ivanov E., Sidorov S. ($\mathcal{N}=8$) supersymmetric mechanics with spin variables from indecomposable multiplets // *Physical Review D*. — 2026. — Vol. 113, no. 6. — P. 066001.
2. Ivanov E., Zaigraev N. ($N=2$) AdS hypermultiplets in harmonic superspace // *Physics Letters B*. — 2025. — Vol. 871. — P. 139964.
3. Ivanov E. A., Zaigraev N. M. ($\mathcal{N}=2$) Supergravity and Harmonic Superspace: Linearized Supercurvatures // *Physics of Particles and Nuclei*. — 2025. — Vol. 56, no. 2. — P. 247–252.
4. Buchbinder I. L., Budekhina A. S., Ivanov E. A., Stepanyantz K. V. Structure of divergences in the higher-derivative supersymmetric 6D gauge theory // *Physical Review D*. — 2025. — Vol. 111, no. 12. — P. 125014.
5. Ivanov E., Zaigraev N. ($N=2$) superconformal gravitino in harmonic superspace // *Physics Letters B*. — 2025. — Vol. 862. — P. 139333.
6. Ivanov E., Zaigraev N. Off-shell invariants of linearized 4D, ($N=2$) supergravity in the harmonic approach // *Physical Review D*. — 2024. — Vol. 110, no. 6. — P. 066020.
7. Buchbinder I., Ivanov E., Zaigraev N. ($\mathcal{N}=2$) superconformal higher-spin multiplets and their hypermultiplet couplings // *Journal of High Energy Physics*. — 2024. — Vol. 08. — P. 120.
8. Buchbinder I., Ivanov E., Zaigraev N. ($\mathcal{N}=2$) higher spin theories and harmonic superspace // *Proceedings of Science*. — 2024. — Vol. ICPPCRubakov2023. — P. 048.
9. Ivanov E. Higher spins in harmonic superspace // *Theoretical and Mathematical Physics*. — 2023. — Vol. 217, no. 3. — P. 1855–1869.
10. Buchbinder I., Ivanov E., Zaigraev N. ($\mathcal{N}=2$) higher spins: superfield equations of motion, the hypermultiplet supercurrents, and the component structure // *Journal of High Energy Physics*. — 2023. — Vol. 03. — P. 036.
11. Buchbinder I., Ivanov E., Zaigraev N. Off-shell cubic hypermultiplet couplings to ($\mathcal{N}=2$) higher spin gauge superfields // *Journal of High Energy Physics*. — 2022. — Vol. 05. — P. 104.