

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Объединенного института

[REDACTED] ядерных исследований,

академик РАН Г.В. Трубников

«22» апреля 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – «Объединенный институт ядерных исследований»

о диссертации Грицаенко Вячеслава Сергеевича

“Предсимплектические структуры и минимальные лагранжианы первого порядка для массивных полей”,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

Диссертационная работа В.С. Грицаенко посвящена построению минимальных лагранжевых формулровок для массивных полей высших спинов и применению обобщенного предсимплектического BV-AKSZ формализма к различным теоретико-полевым системам. При этом особое внимание уделяется построению внутреннего действия для массивных теорий спина 2 и 3, нахождению минимальной формулировки для бездуховой массивной теории бигравитации и изучению общих геометрических свойств рассматриваемых калибровочных теорий в рамках BV-AKSZ формализма. Исследование таких моделей тесно связано с построением согласованной теории всех спинов, как в безмассовом, так и массивном случаях.

Актуальность темы исследования

Проблема построения лагранжевых формулровок для заданной системы уравнений движения является важным элементом теории высших спинов. Для массивных полей высших спинов эта задача особенно сложна, поскольку стандартные методы зачастую приводят к введению многочисленных вспомогательных полей и громоздким выражениям для лагранжианов. Кроме того, геометрический подход к формулировке полевых теорий, развивающий

в работе, предоставляет более глубокое понимание структуры теории и позволяет систематически изучать ее свойства. Это особенно важно для теорий с калибровочными симметриями, где геометрический язык является наиболее естественным. Следует также подчеркнуть, что рассматриваемые в диссертации массивные теории гравитации представляют значительный интерес в современной физике фундаментальных взаимодействий и космологии. Решение проблемы духовых степеней свободы в таких теориях имеет прямое отношение к модификациям общей теории относительности, которые активно исследуются при рассмотрении проблемы темной энергии и космологической постоянной.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Полный объем работы составляет 118 страниц.

Во **введении** автор формулирует цели и задачи исследования, обосновывает актуальность темы, характеризует научную новизну и значимость полученных результатов, а также приводит историю развития тематики исследования.

В **первой главе** рассматривается построение инвариантных лагранжевых формулровок для массивных полей на основе концепции внутреннего действия. В начале главы вводятся понятия расслоения джетов и стационарной поверхности, определяются понятия естественной системы и внутреннего действия. На примерах известных систем (гамильтонова механика, уравнение Кортевега-де Фриза, метрическая гравитация, теория Фронсдала, массивный спин 1) автор демонстрирует эффективность подхода, а затем переходит к более сложным случаям массивных полей спина 2 и 3, для которых строят минимальные мультисимплектические действия.

Вторая глава посвящена обобщенному предсимплектическому BV-AKSZ формализму. В начале главы изложены основы формализма Баталина-Вилковыского на языке градуированных супермногообразий и введено понятие Q-многообразий и Q-расслоений, а также описана AKSZ-модель. Далее вводится предсимплектический BV-AKSZ формализм и его обобщение, доказывается, что данный формализм позволяет восстанавливать полную BV-формулировку теории. В качестве приложений рассматриваются случаи, когда Q-дифференциал не содержит информации о калибровочной симметрии теории, а также строятся минимальные формулировки для электродинамики p-форм и модели Фридмана-Таунсенда.

Третья глава сфокусирована на применении развитого формализма к бездуховой массивной теории бигравитации. Автор начинает с

исторического экскурса, описывая проблемы скачка ван Дама-Вельтмана-Захарова и духа Бульвара-Дезера, а затем переходит к современному решению этих проблем - бездуховой массивной теории бигравитации. Рассматривается как метрическая, так и реперная формулировка теории, обсуждается размерная редукция через дискретизацию. Основной результат главы - построение минимальной предсимплектической формулировки для бездуховой массивной теории бигравитации и доказательство квазирегулярности соответствующей поверхности связей.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и применении новых математических методов для построения минимальных лагранжевых формулловок теорий массивных полей высших спинов и бездуховой массивной теории бигравитации.

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Построено внутреннее действие для массивных теорий спина 2 и 3, показана его неполнота и найдены соответствующие расширения стационарной поверхности и предсимплектической структуры, позволяющие получить полные формулировки.
2. Установлена связь между предсимплектическим BV-AKSZ формализмом и внутренним действием в случае, когда Q-дифференциал не содержит информации о калибровочной симметрии теории. Показано, что в этом случае обобщенный предсимплектический BV-AKSZ формализм воспроизводит внутреннее действие.
3. Построены минимальные формулировки в рамках обобщенного предсимплектического BV-AKSZ формализма для ряда теорий с приводимыми калибровочными преобразованиями, в частности для электродинамики p-формы и модели Фридмана-Таунсенда.
4. В рамках обобщенного предсимплектического BV-AKSZ формализма построена минимальная формулировка для бездуховой массивной теории бигравитации. Получен спектр переменных, необходимых для построения BV-формулловки, и доказана квазирегулярность соответствующей поверхности связей.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработке новых математических методов для описания массивных полей высших спинов и массивной гравитации. Развитый в работе обобщенный предсимплектический BV-AKSZ формализм также представляет интерес для математической физики и дифференциальной геометрии.

Практическая значимость работы связана с возможностью применения разработанных методов для построения минимальных лагранжевых формулировок различных теоретико-полевых систем. Это может упростить анализ свойств этих систем и открыть новые подходы к их квантованию. Особую практическую ценность имеет применение развитого формализма к бездуховой массивной теории бигравитации, которая представляет интерес для современной космологии как потенциальная модель для объяснения ускоренного расширения Вселенной.

Обоснованность и достоверность результатов

Обоснованность и достоверность результатов диссертации обеспечивается использованием строгого математического аппарата дифференциальной геометрии, теории супермногообразий и суперотображений. Все основные положения работы сопровождаются детальными математическими выкладками и доказательствами.

Результаты работы согласуются с ранее известными результатами в области теории массивных полей и BV-AKSZ формализма. Предложенные минимальные лагранжевые формулировки для массивных полей спина 2 и 3 воспроизводят известные уравнения движения этих теорий, что подтверждает корректность развитого подхода.

Результаты диссертации были опубликованы в трех статьях в рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, и представлены на международных научных конференциях, что также свидетельствует об их достоверности.

Замечания к работе

При общей высокой оценке диссертационной работы следует отметить ряд замечаний:

1. Представлялось бы полезным при изучении внутреннего действия в главе 1 рассмотреть теорию Синга-Хагена для массивного поля

произвольного спина, что должно представить в изучаемом подходе как минимум альтернативный способ для технически сложной процедуры исключения вспомогательных полей. Также следовало бы рассмотреть калибровочную модель Синга-Хагена-Зиновьева для массивных спиновых полей при исследовании BV-AKSZ формализма для калибровочных теорий в главе 2.

2. Было бы полезным рассмотреть как иллюстративный пример механику с высшими производными при изучении минимального мультисимплектического действия в разделе 1.6 и при построении внутреннего действия в разделе 1.4, что обогатило бы содержание диссертации.

3. Некоторые части работы являются математически абстрактными, что затрудняет понимание получаемых физических результатов и восприятие материала специалистами из смежных областей. Некоторые математические конструкции, например, обобщенный предсимплектический BV-AKSZ формализм, могли бы быть проиллюстрированы на более простых примерах.

4. В уравнении (2.1) главы 2 присутствует опечатка, приводящая к искажению смысла сделанного там утверждения.

5. В работе периодически встречается написание терминов «лагранжиан», «гамильтониан» и производных от них прилагательных с заглавной буквы, тогда как согласно принятым правилам русского языка считается верным написание их со строчной буквы.

Вместе с тем, указанные замечания не снижают ценности и важности полученных в диссертации результатов.

Заключение

Диссертация Грицаенко Вячеслава Сергеевича «Предсимплектические структуры и минимальные лагранжианы первого порядка для массивных полей» представляет собой завершенное научное исследование, выполненное на высоком теоретическом уровне. В работе решена актуальная научная задача построения минимальных лагранжевых формулировок для массивных полей высших спинов и бездуховой массивной теории бигравитации.

Полученные результаты имеют важное значение для развития геометрических методов в теоретической физике и могут найти применение при исследовании различных калибровочных теорий и моделей модифицированной гравитации.

Автореферат правильно и полно отражает текст диссертации.

Диссертация соответствует паспорту специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика» и удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Грицаенко Вячеслав Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

Отзыв составил доктор физико-математических наук Федорук Сергей Алексеевич.

Отзыв ведущей организации обсужден и одобрен на заседании научного семинара темы «Современная математическая физика» 17.04.2025 г.

Доктор физико-математических наук
начальник сектора
Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова
Международной межправительственной организации
«Объединенный институт ядерных исследований»
г. Дубна 141980, ул. Жолио-Кюри 6,
специальность 01.04.02 (теоретическая физика)
тел.: 8-4962162445, эл. почта: fedoruk@theor.jinr.ru

[REDACTED] С.А. Федорук

21.04.2025

Подпись С.А. Федорука удостоверяю:
Ученый секретарь ЛТФ ОИЯИ

[REDACTED] А.В. Андреев

Список основных работ по теме защищаемой диссертаций в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. I.L. Buchbinder, S.A. Fedoruk, A.P. Isaev, V.A. Krykhtin, “On BRST Lagrangian formulation of massless higher spin fields”, Russ. Phys. J. 67 (2024) 11, 1806-1818
2. S. Sidorov, “Dual superfield approach to supersymmetric mechanics with spin variables”, J. Phys. A 58 (2025) 2, 025210
3. I.L. Buchbinder, S.A. Fedoruk, A.P. Isaev, M.A. Podoinitsyn, “On the realization of infinite (continuous) spin field representations in AdS_4 space”, Phys. Lett. B 861 (2025) 139226
4. N.V. Krasnikov, “Introduction to Nonlocal Field Theory Including Gravity”, Phys. Part. Nucl. 55 (2024) 6, 1467-1473
5. I.L. Buchbinder, Públío Rwany B.R. do Vale, G.Y. Oyadomari, I.L. Shapiro, “On the renormalization of massive vector field theory coupled to scalar in curved space-time”, Phys. Rev. D 110 (2024) 12, 125015
6. I.L. Buchbinder, S.A. Fedoruk, A.P. Isaev, V.A. Krykhtin, “BRST construction for infinite spin field on AdS_4 ”, Eur. Phys. J. Plus 139 (2024) 7, 621
7. I.L. Buchbinder, S.A. Fedoruk, A.P. Isaev, V.A. Krykhtin, “Lagrangian formulation for free 6D infinite spin field”, Nucl. Phys. B 996 (2023) 116365
8. I.L. Buchbinder, A.A. Reshetnyak, “Consistent Lagrangians for irreducible interacting higher-spin fields with holonomic constraints”, Phys. Part. Nucl. 54 (2023) 6, 1066-1071
9. I. Buchbinder, E. Ivanov, N. Zaigraev, “ $N=2$ higher spins: superfield equations of motion, the hypermultiplet supercurrents, and the component structure”, JHEP 03 (2023) 036
10. I. Buchbinder, E. Ivanov, N. Zaigraev, “Unconstrained $N=2$ higher-spin gauge superfields and their hypermultiplet couplings”, Phys. Part. Nucl. Lett. 20 (2023) 3, 300-305