



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

99-9  
На правах рукописи

Клишевич Сергей Михайлович

**КАЛИБРОВОЧНО-ИНВАРИАНТНЫЕ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАССИВНЫХ ПОЛЕЙ  
ВЫСШИХ СПИНОВ**

01.04.02 – теоретическая физика

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Протвино 1999

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий (г.Протвино).

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Ю.М. Зиновьев.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук М.А. Васильев (ФИАН, г. Москва), доктор физико-математических наук А.В. Разумов (ИФВЭ, г. Протвино) .

Ведущая организация – Объединенный институт ядерных исследований (г. Дубна).

Защита диссертации состоится “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 1999 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 034.02.01 при Институте физики высоких энергий по адресу: 142284, г. Протвино Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 1999 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 034.02.01

Ю.Г. Рябов

© Государственный научный центр  
Российской Федерации  
Институт физики высоких энергий, 1999

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** Проблема описания взаимодействия полей высших спинов имеет большую историю. Несмотря на существование достаточно большого количества подходов к описанию свободных полей высоких спинов, в настоящее время только две теории претендуют на описание взаимодействия этих полей. Это теория суперструн и теория Васильева безмассовых полей в пространстве постоянной кривизны. Однако обе эти теории имеют бесконечный спектр, и поэтому остается открытым вопрос о непротиворечивом описании взаимодействия отдельных полей высших спинов. Изучение данного вопроса может помочь преодолеть барьер  $N = 8$  для теорий супергравитации, как раз связанный с неумением строить взаимодействие полей со спинами больше двух. Прогресс в этом вопросе может привести к появлению суперсимметричных моделей нового типа. Предполагается, что новая теория должна содержать супергравитацию как составную часть, а также будет перенормируемой или даже конечной (вследствие высокой калибровочной симметрии) и будет обладать достаточно большой внутренней симметрией для включения Стандартной Модели. В связи с этим можно отметить, что неприводимый супермультиплет простейшего расширения  $SUGRA_{N=8}$ , включающего поля со спинами 3 и  $5/2$ , имеет группу внутренней симметрии  $O(10)$ , которой достаточно для включения группы  $SU(3) \otimes SU(2) \otimes U(1)$ .

Кроме того, важным моментом является исследование существования электромагнитного взаимодействия полей высших спинов. Помимо академического интереса, этот вопрос имеет большое значение и для феноменологии, так как может быть применен к описанию электромагнитного взаимодействия мезонов и барионов с высокими спинами в приближении, когда можно пренебречь их внутренней структурой.

### Цель диссертационной работы:

- Построение калибровочно-инвариантного описания массивных полей высших спинов.

- Рассмотрение гамильтоновой формулировки массивных полей со спинами 2 и 3. Исследование замен переменных с одной производной.
- Получение калибровочно-инвариантного лагранжиана, описывающего взаимодействие второго массового уровня открытой бозонной струны, содержащего частицы со спинами 1 и 3 с однородным электромагнитным полем.
- Изучение взаимодействия массивных полей произвольных спинов с однородным электромагнитным полем в операторном подходе.
- Исследование взаимодействия массивных полей произвольных целых спинов с внешним гравитационным полем в операторном подходе.

### **Научная новизна и практическая ценность работы:**

1. Рассмотрено калибровочно-инвариантное описание массивных полей произвольных целых спинов. Дается гамильтонова формулировка свободных калибровочных массивных полей со спинами 2 и 3 и показывается, что переопределения полей с одной производной вида могут быть преобразованиями, изменяющими спектр.
2. Рассмотрено электромагнитное взаимодействие массивного поля спина 2 и получены: а) линейное приближение с минимальным числом производных в случае произвольного электромагнитного поля; б) полный ответ для однородного поля в пространстве-времени произвольной размерности.
3. С помощью метода БРСТ квантования открытой бозонной струны получен калибровочно-инвариантный лагранжиан, описывающий взаимодействие второго массового уровня, содержащего массивное поле со спином 3 с постоянным электромагнитным полем. На основе явного вида преобразований и лагранжиана сделан вывод, что присутствие внешнего постоянного электромагнитного поля приводит к перемешиванию состояний на данном уровне.
4. На основе операторного подхода построены лагранжиан и калибровочные преобразования, описывающие взаимодействие массивного бозонного поля произвольного целого спина с однородным электромагнитным полем вплоть до второго порядка по напряженности. Данный подход обобщен на случай массивных полей произвольного полуцелого спина и применен для описания электромагнитного взаимодействия фермионных полей в линейном приближении.
5. В операторном подходе получена калибровочно-инвариантная модель, в линейном приближении по тензору Римана и скалярной кривизне описывающая взаимодействие массивного поля произвольного целого спина с внешним ковариантно-постоянным гравитационным полем, что эквивалентно распространению таких полей в симметрическом пространстве Эйнштейна.

Полученные результаты могут быть полезными в понимании симметрий, которые стоят за теориями суперструн, при построении новых суперсимметричных теорий и при обобщении Стандартной Модели. Также они могут иметь приложение к таким бурно развивающимся сегодня областям теоретической физики, как

М-теория, D-браны и т.д., так как, являясь обобщением струнных теорий, они содержат также и динамику полей с высшими спинами.

Кроме того, полученные в диссертации результаты могут быть также применены и к описанию взаимодействия массивных мезонных и барионных состояний высоких спинов с однородным электромагнитным полем.

**Апробация работы.** Материал, составляющий диссертацию, опубликован в работах [1–6]. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на семинарах ОТФ ИФВЭ и ФИАН.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и трех приложений. Объем диссертации 129 страниц, включая одну таблицу и список литературы из 110 наименований.

## Содержание диссертации

**Во Введении** обосновывается актуальность проблем, рассмотренных в диссертации. Обсуждаются основные известные результаты, достигнутые в области изучения полей высших спинов с акцентом на массивные поля. Излагается структура диссертации.

**В первой главе** дается калибровочно-инвариантная формулировка описания массивных полей произвольного целого спина. Характерной особенностью данной формулировки является отсутствие скачка степеней свободы при переходе к безмассовому пределу. Показана эквивалентность калибровочной формулировки обычной форме описания, предложенной Сингхом и Хагеном.

При изучении различного рода моделей часто приходится делать замены переменных, в том числе и с производными. В общем случае преобразования меняют спектр, и тогда при квантовании необходимо использовать модифицированную теорему эквивалентности. В разделе 2 этой главы дается гамильтонова формулировка калибровочных массивных полей со спинами 2 и 3 и показывается, что преобразования компонентных полей с одной производной вида  $\Phi \rightarrow \Phi + \partial\Phi$  для поля со спином 3 приводят к изменению числа степеней свободы, что требует использование модифицированной теоремы эквивалентности при квантовании системы с такими заменами переменных. В то же время на примере простой механической системы показано, что в невырожденном случае преобразования такого же типа не являются изменяющими спектр.

**Во второй главе** исследуется электромагнитное взаимодействие массивных полей высших спинов.

В разделе 3 на основе конструктивного метода рассматривается электромагнитное взаимодействие массивного поля спина 2 в линейном приближении. По-

казано, что для построения линейного приближения необходимо рассматривать в преобразованиях члены как минимум с одной производной, а в лагранжиане — соответственно с двумя производными. Независимость линейного приближения от присутствия других физических полей позволяет утверждать, что полученное приближение является общим для любой теории с числом производных в лагранжиане взаимодействия, не превышающим двух. Теорией такого типа является, например, редукция пятимерной гравитации.

В этом же разделе конструктивным способом строятся калибровочно-инвариантный лагранжиан и преобразования, описывающие распространение массивного поля со спином 2 в однородном электромагнитном поле в пространстве-времени произвольной размерности. Наличие калибровочной инвариантности и отсутствие высших производных в лагранжиане гарантируют правильное число физических степеней свободы и в присутствии взаимодействия.

В разделе 4 на основе метода БРСТ квантования открытой бозонной струны получен калибровочно-инвариантный лагранжиан и преобразования, описывающие взаимодействие с однородным электромагнитным полем второго массового уровня струны, содержащего массивное поле со спином 3. Полученный лагранжиан является калибровочно-инвариантным только в 26-мерном пространстве-времени. На основе полученного лагранжиана и преобразований сделан вывод, что присутствие внешнего электромагнитного поля приводит к перемешиванию состояний массового уровня. В этом разделе также предложено строить взаимодействия полей высших спинов с однородным электромагнитным полем в пространстве с докритической размерностью на основе БРСТ квантования “массивных” струн.

В пятом разделе в операторном подходе рассматривается взаимодействие массивных полей произвольных целых спинов с однородным электромагнитным полем вплоть до второго порядка по напряженности.

Свободное состояние с произвольным целым спином мы представляем как некоторое состояние  $|\Phi^s\rangle$  псевдогильбертового пространства. Тензорные поля, соответствующие частице со спином  $s$ , являются коэффициентными функциями данного состояния. На введенном пространстве мы вводим набор некоторых операторов, с помощью которых определяются калибровочные преобразования и необходимые связи на  $|\Phi^s\rangle$ . Калибровочно-инвариантный лагранжиан имеет вид среднего по состоянию  $|\Phi^s\rangle$  от некоторого эрмитового оператора, построенного из введенных операторов. Используя такое построение, в подразделе 5.1 мы получаем в терминах коэффициентных функций калибровочно-инвариантный лагранжиан, описывающий массивную частицу произвольного целого спина.

Введение “минимального” взаимодействия нарушает алгебраические свойства рассмотренных операторов, что приводит к потере калибровочной инвариантности. Для восстановления необходимых свойств мы рассматриваем деформацию этих операторов, зависящую от напряженности электромагнитного поля. В подразделе 5.2 мы строим такие модифицированные операторы вплоть до второго порядка по напряженности электромагнитного поля. Это означает восстановление калибровочной инвариантности в том же порядке.

В этом разделе мы приводим явный вид лагранжиана взаимодействия и модифицированных калибровочных преобразований в линейном приближении по напряженности электромагнитного поля. Обсуждается непосредственное обобщение полученных результатов на случай произвольного ковариантно-постоянного неабелевого поля.

В разделе 6 операторный метод, рассмотренный ранее, обобщается на случай фермионных полей высших спинов, и на основе такого подхода исследуется взаимодействие с постоянным электромагнитным полем в линейном приближении.

Для описания фермионных полей высших спинов на вспомогательном фокковском пространстве мы обобщаем конструкцию, предложенную для описания бозонных полей, вводя спинорный вакуум и набор дополнительных антикоммутирующих операторов, с помощью которых определяются необходимые связи на фермионные состояния. Полный вакуум определяется как тензорное произведение бозонного и спинорного вакуумов. Как и в бозонном случае, калибровочный лагранжиан строится как среднее от некоторого нечетного эрмитового оператора по фермионному состоянию.

“Минимальное” взаимодействие нарушает алгебраические свойства введенных операторов и, как следствие, калибровочную инвариантность. Для восстановления необходимых свойств, обеспечивающих калибровочную инвариантность, мы рассматриваем модификацию операторов, зависящую от напряженности электромагнитного поля. В подразделе 6.2 в линейном приближении мы строим такой набор деформированных операторов с нужными алгебраическими свойствами.

В подразделе 6.3 на основе полученных результатов мы строим калибровочные лагранжианы и преобразования, описывающие электромагнитное взаимодействие массивных полей со спинами  $3/2$  и  $5/2$ . Обсуждается обобщение на случай произвольного ковариантно-постоянного неабелевого поля.

**В третьей главе** мы применяем операторный подход описания калибровочных массивных бозонных полей высших спинов к изучению распространения этих полей в произвольном  $D$ -мерном симметрическом пространстве Эйнштейна.

Для ковариантного описания полей на Римановом пространстве необходимо заменить обычные производные на общековариантные, а также перейти к лагранжевым плотностям, получаемым умножением на фактор  $\sqrt{-g}$ . Замена производных ведет к изменению алгебраических свойств операторов, рассмотренных в подразделе 5.1, и, как следствие, к потере калибровочной инвариантности для полей высших спинов. Проблему восстановления инвариантности мы сводим к чисто алгебраической проблеме нахождения таких модифицированных операторов, зависящих от тензора Римана и от скалярной кривизны, чтобы они имели коммутационные соотношения, достаточные для восстановления калибровочной инвариантности.

В следующем подразделе мы строим набор операторов, обладающих нужными алгебраическими свойствами в линейном порядке по тензору Римана и скалярной кривизне. Кроме того, в разделе 7.2 мы приводим явную форму лагранжианов и преобразований в линейном порядке, описывающих распространение массивных

полей со спинами 1 и 2 в произвольном  $D$ -мерном симметрическом пространстве Эйнштейна.

**В Заключении** перечислены основные результаты, полученные в диссертационной работе.

**В Приложении А и Б** приводятся канонические плотности гамильтонианов для массивного калибровочного поля спина 3 при переопределении полевых переменных без производной и с использованием одной производной соответственно.

**В Приложении В** мы приводим полный недиагональный лагранжиан без вспомогательных полей, описывающий распространение массивных полей со спинами 3 и 1 в однородном электромагнитном поле.

## Список литературы

- [1] Зиновьев Ю.М., Клишевич С.М. Об электромагнитном взаимодействии массивной частицы со спином 2. // *ЯФ*. 1998, **61**, с. 1638-1648.
- [2] Клишевич С.М. Гамильтонова формулировка массивных спинов 2 и 3 и замена переменных с одной производной. // *ТМФ*. 1998, **116**, с. 248-264.
- [3] Klishevich S.M. Electromagnetic interaction of massive spin-3 state from string theory: IHEP Preprint 98-20, Protvino, 1998, hep-th/9805174; submitted to *Int. J. Mod. Phys. A*.
- [4] Klishevich S.M. Massive fields of arbitrary integer spin in homogeneous electromagnetic field: IHEP Preprint 98-24, Protvino, 1998, hep-th/9810228; submitted to *Int. J. Mod. Phys. A*.
- [5] Klishevich S.M. Massive fields of arbitrary half-integer spin in constant electromagnetic field: IHEP Preprint 98-70, Protvino, 1998, hep-th/9811030; submitted to *Nucl. Phys. B*.
- [6] Klishevich S.M. Massive fields of arbitrary integer spin in symmetrical Einstein space: IHEP Preprint 98-81, Protvino, 1998, hep-th/9812005; submitted to *Class. Quant. Grav.*

*Рукопись поступила 22 февраля 1999 г.*



С.М. Клишевич.

Калибровочно-инвариантные взаимодействия массивных полей высших спинов.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы  $\text{\LaTeX}$ .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

---

Подписано к печати 25.02.98. Формат  $60 \times 84/8$ . Офсетная печать.

Печ.л. 0,6. Уч.-изд.л. 0,48. Тираж 100. Заказ 41. Индекс ЛР №020498 17.04.97.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий  
142284, Протвино Московской обл.

