



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

98-75

На правах рукописи

Алексеев Алексей Иванович

**НЕПЕРТУРБАТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ИНФРАКРАСНОГО ПОВЕДЕНИЯ
ГЛЮОННЫХ ФУНКЦИЙ ГРИНА
И СВОЙСТВА ГЛЮОННОГО ВАКУУМА
КВАНТОВОЙ ХРОМОДИНАМИКИ**

01.04.02 — теоретическая физика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Протвино 1998

УДК 539.1.01

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

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук В.Ч. Жуковский, доктор физико-математических наук Н.В. Красников, доктор физико-математических наук Р.Н. Фаустов.

Ведущая организация – Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ (г. Москва).

Защита диссертации состоится “_____” _____ 1998 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 034.02.01 при Институте физики высоких энергий по адресу: 142284, г. Протвино Московской обл., Институт физики высоких энергий.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан “_____” _____ 1998 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 034.02.01

Ю.Г. Рябов

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 1998

Общая характеристика работы

Актуальность темы.

Несмотря на зависимость функций Грина глюона от выбора калибровки, исследование их свойств даже при отсутствии динамических кварков представляет значительный интерес, поскольку, с одной стороны, функции Грина являются основными объектами квантовой теории поля, и свойства наблюдаемых величин могут, в принципе, быть найдены из свойств соответствующих функций Грина, а с другой стороны, именно глюонный сектор вследствие наличия нелинейного самодействия считается ответственным за качественное отличие квантовой хромодинамики (КХД) от других моделей теории поля.

Особый интерес представляет инфракрасная область, соответствующая большим расстояниям, в силу ее ответственности за механизм конфайнмента и недоступности развитым методам пертурбативного исследования. Изучению инфракрасного поведения глюонных функций Грина, и прежде всего пропагатора, посвящено много работ, однако в литературе отсутствует единое мнение о характере поведения глюонного пропагатора в инфракрасной области.

В качестве метода непертурбативного исследования глюонного пропагатора и других функций Грина представляется адекватным использовать уравнения Дайсона–Швингера, которые в значительной степени удается сделать замкнутыми с помощью калибровочных тождеств Славнова–Тейлора. При этом простота калибровочных тождеств делает привлекательным выбор аксиальной калибровки.

Поведение глюонного пропагатора вида $D(q) \sim (q^2)^{-2}$, $q^2 \rightarrow 0$, соответствующее усилению нулевых мод и обеспечивающее линейный конфайнмент кварков, является согласованным с уравнением Дайсона–Швингера для глюонного пропагатора. Кроме того, такое поведение служит основой при построении физически привлекательной картины вакуума КХД как дуальной сверхпроводящей среды. Представляет интерес исследование согласованности с указанным уравнением других обсуждаемых возможностей, например слабосингулярного степенного поведения, гипотезы “замораживания” взаимодействия в инфракрасной области, “анализированного”

поведения. Наблюдается интерес также к вопросу о том, насколько подавленными должны быть непертурбативные вклады в ультрафиолетовой области, где применима теория возмущений. Анализ важной физической величины — глюонного конденсата — позволяет делать некоторые выводы о поведении непертурбативных вкладов.

Указанному кругу вопросов посвящена одна часть предлагаемой диссертации. Другая часть диссертации является ее логическим продолжением, поскольку информация о поведении полных функций Грина позволяет сформулировать калибровочно-инвариантный эффективный лагранжиан для инфракрасной области и на его основе исследовать свойства глюонного вакуума квантовой хромодинамики. Эффективное действие, соответствующее указанному лагранжиану, по определению, является функционалом от усредненного по квантовым флуктуациям классического неабелева калибровочного поля $A_\mu^{cl a}(x)$ в присутствии внешнего источника $J_\mu^a(x)$.

Изучение классических уравнений движения поля для лагранжиана Янга–Миллса позволило обнаружить ряд новых нетривиальных решений: монополей, инстантонов, дионов, меронов и так далее. Представляет интерес рассмотреть, каковы решения однородных и неоднородных уравнений движения поля для эффективного лагранжиана. Поскольку в этом лагранжиане уже учтено квантовое самодействие глюонов в инфракрасной области, задача о классических решениях может иметь прямое отношение к задаче о взаимодействии реальных цветовых зарядов на больших расстояниях.

Цель диссертационной работы — исследование поведения глюонных функций Грина в непертурбативной инфракрасной области и описание основных свойств глюонного вакуума квантовой хромодинамики.

Научные результаты и новизна работы.

В диссертации развит подход к непертурбативному исследованию инфракрасной области глюонного сектора квантовой хромодинамики, основанный на приближенном решении точных динамических уравнений теории поля с учетом следствий калибровочной инвариантности. Глюонный вакуум в непертурбативной области рассматривается при этом как дуальная сверхпроводящая среда, описываемая эффективным калибровочно-инвариантным лагранжианом, полученным в результате исследования инфракрасных асимптотик глюонных функций Грина.

Перечислим основные результаты и выводы, полученные в диссертации.

- В чистой глюодинамике исследованы свойства точного уравнения Дайсона–Швингера для глюонного пропагатора в аксиальной калибровке и найдена тензорная структура однопетлевого и двухпетлевого членов поляризационного оператора глюона.
- Введена обобщенная прескрипция (*c*-прескрипция) для аксиальных особенностей, в частных случаях совпадающая с прескрипцией главного значения и

$\pm i0$ -прескрипциями, позволяющими определить произведения аксиальных особенностей и не дающими в формулах декомпозиции дополнительных δ -членов Пуанкаре–Бертрана. Для обобщенной прескрипции разработана техника вычисления однопетлевых безмассовых интегралов по n -мерному импульсному пространству с нецелыми степенями знаменателей.

- Найден рекуррентный алгоритм, позволяющий алгебраически выразить линейную комбинацию различных однопетлевых безмассовых интегралов по n -мерному импульсному пространству к линейной комбинации независимых базисных интегралов в аксиальной калибровке с обобщенной прескрипцией для аксиальных сингулярностей.
- Для усиленного в инфракрасной области поведения глюонного пропагатора вида $D_{\mu\nu}(q) \simeq (M^2/q^2)D_{\mu\nu}^{(0)}(q)$, $q^2 \rightarrow 0$ с помощью тождеств Славнова–Тейлора построены трехглюонная и четырехглюонная вершинные функции без априорного наложения условия отсутствия поперечных частей. В компактном виде инфракрасные асимптотики вершинных функций (до шеститочечной) могут быть записаны с помощью эффективного лагранжиана вида $\mathcal{L}_{eff} = (1/4M^2)(\mathcal{D}F)^2 + \xi(g/6M^2)F^3$.
- При произвольных значениях калибровочного параметра y вычислен лидирующий в инфракрасной области тензорный вклад однопетлевого члена в поляризационный оператор глюона. Показано, что в тензорном уравнении Дайсона–Швингера в инфракрасной области нельзя пренебречь двухпетлевым членом. Получено, что построенные инфракрасные асимптотики глюонных функций Грина являются асимптотическим решением свернутого с тензором $\eta_\mu\eta_\nu$ тензорного уравнения Дайсона–Швингера для глюонного пропагатора в аксиальной калибровке с обобщенной прескрипцией для аксиальных сингулярностей.
- В рамках подхода Бейкера–Болла–Захариазена (ББЗ) рассмотрена возможность осуществления степенной инфракрасной асимптотики глюонного пропагатора $D(q) \sim (q^2)^{-c}$, $q^2 \rightarrow 0$. Для произвольных значений размерности пространства-времени при точном интегрировании по угловым переменным получено характеристическое уравнение на показатель степени инфракрасной асимптотики. Характеристическое уравнение исследовано численными методами.
- Исследовано одномерное нелинейное интегральное уравнение, полученное Шоенмейкером в результате приближенного углового интегрирования в уравнении ББЗ. В предположении о степенной инфракрасной асимптотике пропагатора с нецелыми показателями степени развита техника выделения членов уравнения, определяемых только инфракрасным поведением. Показано, что при нецелых и неполучелых значениях показателя степени рассматриваемое уравнение не имеет решений.
- В аксиальной калибровке с обобщенной прескрипцией для аксиальных сингулярностей вычислен однопетлевой поляризационный оператор глюона в теории возмущений с учетом конечных вкладов.

- Рассмотрен вопрос о согласованности гипотезы “замораживания” бегущей константы связи в инфракрасной области (а также поведения “анализированной” бегущей константы связи) с уравнениями движения. Показано, что при отсутствии кинематических сингулярностей в поперечной части трехглюонной вершинной функции такое поведение бегущей константы связи не реализуется.
- С учетом сформулированного принципа минимальности непертурбативных вкладов в ультрафиолетовой области проведена модификация выражения для бегущей константы связи. Предложена модель бегущей константы связи КХД, удовлетворяющая требованиям асимптотической свободы, аналитичности, конфайнмента, оценкам величины глюонного конденсата, а также интегральным оценкам в инфракрасной области.
- Для модельной бегущей константы связи $\bar{\alpha}_s(q^2)$ исследовано поведение β -функции и показано, что условие минимума плотности энергии непертурбативного вакуума для “стандартного” значения глюонного конденсата фиксирует параметр модели Λ , $\Lambda = \bar{\Lambda} \simeq 375$ МэВ, непертурбативный масштаб $k_0 = \bar{k}_0 \simeq 0,777$ ГэВ, а также динамическую массу глюона $m_g = \bar{m}_g \simeq 0,6$ ГэВ.
- Получены уравнения движения, симметричные калибровочно-инвариантные тензоры энергии-импульса, сохраняющиеся токи для поля Янга–Миллса с лагранжианами вида $(DF)^2$, F^3 и их линейной комбинации, полученной при описании инфракрасного поведения глюонных функций Грина.
- Для статических абелевых полевых конфигураций а также для неабелевой параметризации Ву–Янга получены уравнения движения, плотность энергии и плотность заряда неабелевого поля. Найдены неабелевы решения полевых уравнений монопольного и дионного типа. Семейство решений указанного типа для “нестандартного” лагранжиана оказалось богаче, чем семейство решений для “стандартного” лагранжиана.
- На решении, соответствующем вакуумному решению для “стандартного” лагранжиана, построено решение, представимое в виде рядов по обратным степеням радиус-вектора. Найдено, что зависимость плотности энергии поля от параметров, характеризующих величину хромоелектрической и хромагнитной компонент, является седлообразной. С увеличением хромагнитной компоненты плотность энергии поля увеличивается, а с увеличением хромоелектрической компоненты плотность энергии поля уменьшается.
- Получен и исследован ряд хромоелектрических неабелевых решений, отсутствующих для стандартного лагранжиана Янга–Миллса.
- Для статических неабелевых конфигураций Ву–Янга, задаваемых функциями $f(r)$ и $a(r)$, исследовано движение цветной пробной частицы в случае точечноподобного хромагнитного поля $a(r) = 0$ и $f(r) \neq 0$, движение в дионных точечноподобных конфигурациях $f(r) = f_0$, $a(r) = a_0$, движение в хромоелектрическом поле $a(r) = 1$, $f(r) \neq 0$. Рассмотренные примеры движения цветной частицы в неабелевых полях говорят об ограниченности аналогии с движением заряженной частицы в электромагнитных полях. В частности,

движение цветной частицы вблизи минимума потенциала $U(\vec{r}) = (\vec{M}\vec{n})V(r)$, $V(r) = -f(r)/r$, $\vec{M} = const$ позволяет говорить об аналогии движения цветной частицы и движения тяжелого симметрического волчка.

- Исходя из вариационного принципа, найдены граничные условия и построены сшитые статические сферически-симметричные неабелевы решения для произвольного распределения внешних хромозлектрических зарядов. Показано, что хромагнитный монополь Ву–Янга является сшитым решением, причем размер пертурбативной области оказывается фиксированным условием энергетической выгоды полевой конфигурации.
- В случае ненулевого полного хромозлектрического заряда внешних источников показано, что наличие линейной моды, связанной с полным внешним хромозлектрическим зарядом, приводит к линейной расходимости энергии поля на бесконечности и логарифмическому росту заряда поля на больших расстояниях (эффект антиэкранировки). Конечность энергии поля и полного заряда поля достигается только в случае нулевого полного внешнего хромозлектрического заряда, т.е. для бесцветной системы.
- В рамках сферически-симметричной постановки задачи построена и исследована в целом нейтральная модель взаимодействующих хромозлектрических зарядов. Найдено давление на заряженные сферы в пертурбативной области, непертурбативной области и на сферу сшивания. Показано, что для “мезонной” и “барионной” зарядовых конфигураций условия равновесия системы фиксирует размер пертурбативной области. Найдена энергия, связанная с перестройкой вакуума, и оценена плотность энергии непертурбативного вакуума.

Несмотря на упрощенный характер модели, она описывает ряд основных свойств адронов: конфайнмент хромозлектрических зарядов, размер адронов и плотность энергии вакуума, которые получаются в модели в неплохом согласии с феноменологическими значениями.

Практическая ценность работы

Развитые в диссертации аппарат непертурбативного исследования инфракрасного поведения глюонных функций Грина и техника вычисления петлевых интегралов в аксиальной калибровке могут быть использованы для более полного исследования уравнений Дайсона–Швингера с учетом двухпетлевых членов.

Найденный рекуррентный алгоритм для вычисления импульсных интегралов позволяет эффективно использовать программы символьных вычислений на ЭВМ. Развитие этого направления может привести к построению следующих членов разложения полного эффективного лагранжиана глюодинамики в инфракрасной области.

Сформулированная с учетом непертурбативных вкладов модель бегущей константы связи сильных взаимодействий обладает рядом важных привлекательных

свойств и может быть полезна, в частности, при исследовании динамических уравнений для кварковых полей.

Построенная классическая теория поля для эффективного лагранжиана может быть использована для описания различных аспектов взаимодействия цветовых зарядов вне рамок рассмотренных в диссертации задач.

Апробация работы. Результаты диссертации опубликованы в работах [1–24] и докладывались на международных семинарах по проблемам физики высоких энергий и теории поля (Протвино, 1984; 1986; 1988; 1991; 1994; 1995 гг.), Советско-американском рабочем совещании по калибровочным теориям поля (Ереван, 1983 г.), на рабочих совещаниях по проблеме “Инфракрасное поведение в квантовой хромодинамике” (Тбилиси, 1985, 1988 гг.), XXII Международном симпозиуме по теории элементарных частиц (Аренсхооп, ГДР, 1988 г.), Международной конференции по физике высоких энергий “Дифракция-95” (Новый Свет, Крым, 1995 г.), VI Международной конференции по квантованию на световом фронте и непертурбативной квантовой хромодинамике (США, Эймс, 1996 г.), XII Международной конференции по физике высоких энергий и квантовой теории поля (Самара, 1997 г.), Международной конференции по методам непертурбативной теории поля (Аделаида, Австралия, 1998 г.), сессиях Отделения ядерной физики АН СССР и России, семинарах Отдела теоретической физики ИФВЭ, а также на семинарах в других научных центрах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав основного текста, заключения и трех приложений. Она содержит список литературы (162 ссылки) и 10 рисунков. Объем диссертации 210 страниц.

Содержание работы

Во введении показана актуальность темы диссертации.

В первой главе развит аппарат непертурбативного исследования глюонного сектора квантовой хромодинамики, основанный на приближенном решении точных динамических уравнений квантовой теории поля — уравнений Дайсона–Швингера. Рассмотрены вопросы, связанные с выбором калибровочного условия и сделан выбор в пользу бездуховой аксиальной калибровки. Получены динамические уравнения для производящих функционалов функций Грина глюона, связанных функций Грина глюона, сильно связанных функций Грина глюона, уравнение Дайсона–Швингера для глюонного пропагатора. Показана калибровочная инвариантность эффективного действия глюонного поля в аксиальной калибровке и найдены калибровочные тождества Славнова–Тейлора для сильно связанных функций Грина в аксиальной калибровке до четырехточечной. Простота этих тождеств позволяет эффективно использовать следствия калибровочной инвариантности теории при решении уравнений Дайсона–Швингера, связывающих функции Грина глюона.

Во второй главе исследованы свойства точного уравнения Дайсона–Швингера для глюонного пропагатора в аксиальной калибровке в евклидовом импульсном пространстве. Исходя из калибровочных тождеств и свойств симметрии, получена тензорная структура пропагатора, обратного пропагатора и отдельных членов поляризованного оператора. Показано, что однопетлевой член описывается тремя скалярными функциями при различных лоренцевых тензорных структурах, причем одна из структур является несимметричной. Двухпетлевой член описывается двумя скалярными функциями при различных тензорных структурах, одна из которых также является несимметричной. При этом несимметричные вклады однопетлевого и двухпетлевого членов в силу калибровочных тождеств должны сокращать друг друга.

В непертурбативных исследованиях уравнения для глюонного пропагатора с использованием аксиальной калибровки для доопределения аксиальных знаменателей $1/(k\eta)^\rho$ ($\rho = 1, 2$) обычно используют правило (прескрипцию) главного значения. Однако в этом случае формула декомпозиции, позволяющая избежать вычисления импульсных интегралов с четырьмя знаменателями, содержит дополнительные δ -члены Пуанкаре–Бертрана. Поэтому мы вводим обобщенную прескрипцию (s -прескрипцию), которая в частных случаях совпадает с прескрипцией главного значения и с $\pm i0$ -прескрипциями, которые не порождают δ -членов. Для обобщенной прескрипции развита техника вычисления однопетлевых безмассовых фейнмановских интегралов для случая степенного поведения глюонного пропагатора и произвольной размерности импульсного пространства. Для класса интегралов с целыми степенями знаменателей разработан алгоритм алгебраического сведения всех интегралов к трем базисным интегралам.

В предположении об инфракрасном поведении глюонного пропагатора $D_{\mu\nu}(q) \simeq Z(q^2)D_{\mu\nu}^{(0)}(q)$, $Z(q^2) \simeq (M^2/q^2)$, $q^2 \rightarrow 0$ построено приближение для трехглюонной и четырехглюонной вершинных функций, согласованное с тождествами Славнова–Тейлора. При этом, в отличие от основного предположения подхода Бейкера, Болла, Захариазена (ББЗ), мы не пренебрегаем поперечными частями вершинных функций. Исследованы условия, при которых указанное инфракрасное поведение глюонного пропагатора является асимптотическим решением уравнения Дайсона–Швингера.

В третьей главе различные возможности инфракрасного поведения глюонного пропагатора исследованы с помощью замкнутого интегрального уравнения для скалярной функции $Z(q^2)$, описывающей поведение пропагатора. Приближения, сделанные при получении этого уравнения (главное из которых — это основное предположение подхода ББЗ о доминантности продольных частей вершинных функций глюона в инфракрасной области), представляются адекватными исследованию возможности не слишком сингулярного поведения глюонного пропагатора в нуле.

Исследован общий случай степенного инфракрасного поведения с нецелыми показателями степени для интервала значений показателя степени, включающего случаи исчезающего пропагатора, слабосингулярного и более сингулярного, чем по-

люс свободного пропагатора. При этом развита техника выделения нелидирующих членов нелинейного интегрального уравнения, определяемых только инфракрасным поведением пропагатора.

Обсуждаемые в последнее время гипотеза “замораживания” взаимодействия в инфракрасной области, а также метод “аналитизации”, позволяющий решить проблему “призрачного полюса” в квантовой хромодинамике, в рассматриваемом подходе предполагают существование ненулевого конечного предела функции $Z(q^2)$ в нуле. Исследован вопрос о согласованности данного предположения с рассматриваемым замкнутым интегральным уравнением и показано, что это предположение не является согласованным.

Из анализа неперенормированного уравнения для глюонного пропагатора также сделан вывод о том, что “замораживание” не реализуется. Попутно вычислен однопетлевой вклад теории возмущений в поляризационный оператор глюона в аксиальной калибровке с учетом конечных членов.

В четвертой главе рассматривается проблема непертурбативных вкладов в бегущую константу связи $\bar{\alpha}_s(q^2)$ и формулируется модель бегущей константы связи КХД с динамической массой и усилением в инфракрасной области. Исходя из факта неоднозначности процедуры суммирования главных логарифмических диаграмм ряда теории возмущений, “аналитизированное” выражение для бегущей константы связи принимается в качестве исходного, в котором указанный произвол фиксирован лишь частично. Основываясь на результатах второй главы по исследованию инфракрасной области, “аналитизированная” бегущая константа связи модифицирована введением изолированных особенностей полюсного типа. Сформулирован принцип минимальности непертурбативных вкладов в ультрафиолетовой области, позволяющий зафиксировать произвол введения непертурбативных членов и обеспечить конечность сугубо непертурбативной величины — глюонного конденсата.

Исследована зависимость глюонного конденсата от параметра модели Λ и масштаба непертурбативных явлений k_0 , параметризующего неопределенности, связанные с разделением пертурбативных и непертурбативных вкладов. Показано, что условие минимума плотности энергии непертурбативного вакуума (максимума глюонного конденсата) фиксирует параметр модели Λ , а также масштаб непертурбативных явлений и динамическую массу глюона. В рамках модели для $\bar{\alpha}_s(q^2)$ исследована зависимость глюонного конденсата от точки нормировки. Исследованы возможности согласования модели с интегральными оценками для $\bar{\alpha}_s(q^2)$ в инфракрасной области.

В пятой главе построена классическая теория поля для калибровочно-инвариантного эффективного лагранжиана, описывающего инфракрасное поведение полных функций Грина глюона. Для указанного лагранжиана, который является лагранжианом с высшими производными, найдены уравнения движения, симметричный калибровочно-инвариантный тензор энергии-импульса Гильберта, сохраняющиеся токи. Найдены уравнения поля для семейства абелевых решений, которые

оказались уравнениями Максвелла в среде, характеризуемой диэлектрической проницаемостью ε и магнитной проницаемостью μ , причем $\varepsilon = 1/\mu = -\partial^2/M^2$.

Для известной неабелевой параметризации Ву–Янга (с ненулевым “скалярным” потенциалом) получены система статических уравнений поля и плотность энергии поля. Найдены решения монопольного и дионного типов, решения, представимые в виде рядов по обратным степеням расстояния, а также хромoeлектрические решения, отсутствующие в случае стандартного лагранжиана Янга–Миллса.

Шестая глава посвящена исследованию взаимодействия цветowych зарядов.

Задача о движении пробной $SU(2)$ -цветной частицы в произвольной полевой статической конфигурации, соответствующей параметризации Ву–Янга, сведена к задаче о движении электрически заряженной частицы во внешнем электромагнитном поле с дополнительным взаимодействием определенного вида. Рассмотрено движение цветной пробной частицы в некоторых частных случаях конфигураций неабелевых полей, являющихся решениями уравнений движения поля для эффективного лагранжиана, иллюстрирующее своеобразие классической глюодинамики.

Исследованы абелевы статические решения уравнений движения поля для эффективного лагранжиана при наличии источников. Показано, что интеграл от плотности энергии поля хромoeлектрического заряда линейно расходится на бесконечности, а в случае двух противоположных хромoeлектрических зарядов энергия поля конечна и линейно зависит от расстояния между зарядами.

В отличие от случая точечного хромoeлектрического заряда плотность энергии поля хромагнитного монополя интегрируема на бесконечности, так что в рассматриваемом подходе существование отдельного хромагнитного монополя не исключается.

Найдены сшитые статические сферически-симметричные неабелевы решения при наличии хромoeлектрических источников в предположении о справедливости стандартных уравнений Янга–Миллса на малых расстояниях, а на больших — уравнений, следующих из эффективного лагранжиана со сшиванием согласно вариационному принципу. Построена модель конфайнмента хромoeлектрических зарядов, позволяющая оценить размер пертурбативной области (адрона) и среднюю плотность энергии непертурбативного глюонного вакуума.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в диссертации.

Список литературы

- [1] Алексеев А.И. *О степенной инфракрасной асимптотике глюонного пропагатора в аксиальной калибровке.* // ТМФ. 1981, 48, № 3, с.324-339.
- [2] Алексеев А.И., Арбузов Б.А. *Классическая теория поля Янга-Миллса с нестандартными лагранжианами.* // ТМФ. 1984, 59, № 1, с.80-90.

- [3] Алексеев А.И., Арбузов Б.А. *О взаимодействии цветных зарядов.* // ТМФ, 1985, 65, № 2, с.202-211.
- [4] Алексеев А.И., Арбузов Б.А. *Эффективные лагранжианы и взаимодействие цветных зарядов на больших расстояниях.* – ПФВЭКТП, Труды VII Межд. сем., (Протвино, июль 1984).
- [5] Алексеев А.И. *Взаимодействие классических цветных зарядов на больших расстояниях.* – В сб.: Труды рабочего совещания по проблеме “Инфракрасное поведение в квантовой хромодинамике”. — Тбилиси, 1985.
- [6] Алексеев А.И., Еднерал В.Ф. *Тензорная структура поляризационного оператора глюона в аксиальной калибровке в инфракрасной области.* // ЯФ. 1987, 45, вып.4, с.1105-1114.
- [7] Алексеев А.И., Еднерал В.Ф. *Метод разложения эффективного действия глюонного поля в инфракрасной области. Двухпетлевой член поляризационного оператора в светоподобной калибровке.* – ПФВЭТП, Москва, “Наука”, 1987 (Труды IX Межд. сем., Протвино, июль 1986).
- [8] Алексеев А.И., Вшивцев А.С., Татаринцев А.В. *Классические неабелевы решения для нестандартных лагранжианов.* // ТМФ. 1988, 77, № 2, с.266-276.
- [9] Алексеев А.И. — *Движение цветового заряда в неабелевых полях.* ТМФ, 1988, 77, № 3, с.389-401.
- [10] Алексеев А.И., Вшивцев А.С., Перес-Фернандес В.К. *Численное решение классических уравнений движения поля в инфракрасной области.* Известия вузов. Физика, 1990, № 4, с.82-85.
- [11] Алексеев А.И. *Базис независимых фейнмановских интегралов в аксиальной калибровке.* – В сб.: Труды II рабочего совещания по проблеме “Инфракрасное поведение в квантовой хромодинамике”. Тбилиси, 1988.
- [12] Alekseev A.I. *Matched nonabelian solutions as confinement model of chromoelectric charges.* — In: Proceedings of the XXII International Symposium Ahrenshoop on the Theory of Elementary Particles, October 1988. Ed. by E.Wieczorek, Berlin-Zeuthen-DDR, 1988.
- [13] Алексеев А.И. *Неабелевы решения с источниками как статическая модель конфайнмента хромозлектрических зарядов.* – ПФВЭТП, Москва, “Наука”, 1989 (Труды XI Межд. сем., Протвино, июль 1988).
- [14] Alekseev A.I., Arbuzov B.A.. *A model of chromoelectric charges confinement.* // Phys. Lett. 1990, B242, № 1, с.103-106.

- [15] Alekseev A.I. *One-loop integration technique in generalized axial gauge. Polarization operator in gluodynamics.* – ПФВЭТП, Москва, “Наука”, 1992 (Труды XIV Межд. сем., Протвино, июль 1991).
- [16] Alekseev A.I. *On soft singular infrared behaviour of the gluon propagator.* // Phys. Lett. 1995, B344, № 1, с.325-328.
- [17] Alekseev A.I. *On possibility of power type infrared behaviour of the gluon propagator.* – РНЕПФТ, Protvino, 1995 (Proceed. of the XVII Workshop, Protvino, June-July 1994).
- [18] Алексеев А.И. *Об инфракрасном поведении глюонного пропагатора.* // ТМФ. 1996, 106, № 2, с.250-263.
- [19] Alekseev A.I. *Asymptotic solution of the Schwinger-Dyson equation for the gluon propagator in the infrared region.* УФЖ. 1966, 41, №3, с. 344 - 349; In: Proceedings of the XI-th Workshop on Soft Physics (Diffraction-95), Novyi Svet, Crimea, Sept. 1995; hep-th/9512185.
- [20] Alekseev A.I. *Non-perturbative gluon dynamics.* – In: Proceedings of the Sixth International Workshop on Light-Front Quantization and Non-Perturbative QCD. Ames, Iowa, USA, June 1996.
- [21] Alekseev A.I. *QCD running coupling: Freezing versus enhancement in the infrared region.* – Talk presented at the XIIth International Workshop on High Energy Physics and Quantum Field Theory, Samara, Russia, Sept. 1997; Preprint ИИЭП 97-90, Protvino, 1997; hep-ph/9802372.
- [22] Алексеев А.И., Б.А.Арбузов. *Аналитическая бегущая константа связи КХД и принцип минимальности непертурбативных вкладов в ультрафиолетовой области.* // ЯФ. 1998, 61, № 2, с.314-324.
- [23] Alekseev A.I., Arbuzov B.A. *Analyticity and minimality of nonperturbative contributions in perturbative region for $\bar{\alpha}_s$.* // Mod. Phys. Lett. 1998, A13, № 21, с.1747-1756.
- [24] Alekseev A.I. *The model for QCD running coupling constant with dynamically generated mass and enhancement in the infrared region.* Talk presented at the Workshop on Methods in Non-Perturbative Field Theory, Adelaide, Australia, Febr. 1998; Preprint ИИЭП 98-41, Protvino, 1998; hep-ph/9808206.

Рукопись поступила 16 ноября 1998 г.

А.И.Алексеев.

Непертурбативное исследование инфракрасного поведения глюонных функций Грина и свойства глюонного вакуума квантовой хромодинамики.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 17.11.98. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.

Печ.л. 1.4. Уч.-изд.л. 1.05. Тираж 100. Заказ 301. Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

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

