

ФР-954

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

324.1-2

На правах рукописи

2-94-9

**ФУРСАЕВ**  
Дмитрий Владимирович

УДК 539.12.01

**ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВОПОЛЕВЫХ МОДЕЛЕЙ  
С НЕТРИВИАЛЬНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ  
СВОЙСТВАМИ**

Специальность: 01.04.02 — теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1994

## ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

В настоящее время свойства и закономерности, наблюдаемые в экспериментах с элементарными частицами, наиболее полно могут быть объяснены локальной лагранжевой квантовой теорией поля (КТП), обладающей релятивистской и калибровочной симметрией.

Применительно к физике высоких энергий существуют, среди прочих, по крайней мере, три важных направления развития КТП. Это создание более фундаментальной теории, обобщающей, в частности, стандартную модель, адекватное описание сильных взаимодействий на основе квантовой хромодинамики (КХД) и изучение квантовых эффектов в ранней Вселенной. Укажем причины, определяющие актуальность этих исследований.

1. Как известно, в рамках стандартной модели сильных и электро-слабых взаимодействий имеется целый ряд принципиальных вопросов, например, таких как происхождение калибровочной группы или причина несохранения  $CP$ -четности. Кроме того, эта модель оперирует с огромным числом свободных параметров (массы частиц, константы связи, углы смешивания), значения которых устанавливаются лишь экспериментально. Эти и другие проблемы стимулируют поиск новой более универсальной теории, обобщающей стандартную модель и применимой к области сверхвысоких энергий.

2. Существует множество доводов, например, результаты экспериментов по глубоконеупругому рассеянию, в пользу того, что квантовая хромодинамика адекватно описывает процессы, происходящие при сильных взаимодействиях частиц. Она успешно работает в той области, где бегущая константа связи мала и кварки являются асимптотически свободными, что позволяет применять для расчетов теорию возмущений. Однако остаются важные задачи, для решения которых необходимо использовать непертурбативные методы. Главная из них – это последовательное описание динамики адронов на основе КХД как связанных кварковых состояний, а также объяснение механизма конфайнмента, "удержания цвета" на больших расстояниях.

3. Наконец, отметим, что в последнее время возникло и активно развивается направление исследований, использующее методы физики

Работа выполнена в

Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова  
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

член-корреспондент РАН,  
профессор

В.Г.Кадышевский.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,  
профессор

А.Н.Лезнов,

член-корреспондент АН Армении,  
профессор

Р.М.Мурадян.

Ведущая организация: Математический институт РАН им. Стеклова, Москва.

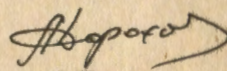
Защита диссертации состоится " " 1994 г. в  
часов на заседании специализированного совета К 047.01.01 при Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований (141980 г.Дубна, Московской обл.).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 1994 г.

Ученый секретарь

специализированного совета ЛТФ ОИЯИ  
доктор физико-математических наук

  
А.Е.Дорохов

Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ

элементарных частиц и квантовой теории поля в космологии. Ранняя Вселенная – это та естественная и, по-видимому, единственная "лаборатория", где могли существовать частицы ультравысоких энергий  $10^{12} - 10^{15}$  ГэВ, достаточных для непосредственной проверки единых теорий всех фундаментальных взаимодействий. Более того, космология дает возможность проводить серьезный отбор среди вновь предлагаемых моделей, а использование результатов квантовополевых теорий, в свою очередь, позволяет ответить на ряд принципиальных вопросов о самой Вселенной.

Темой настоящей диссертации является исследование ряда квантовополевых моделей, имеющих непосредственное отношение к перечисленным проблемам и обладающих интересными геометрическими свойствами.

### Основные задачи диссертации

1. Найти новые альтернативные формулировки калибровочной теории с импульсным пространством постоянной кривизны радиуса  $M$ , который трактуется как новый универсальный масштаб в области высоких энергий – "фундаментальная масса".
2. Исследовать эволюцию струноподобных когерентных возбуждений в абелевых калибровочных теориях и вопрос о применимости метода сильной связи для решения проблемы конфайнмента в калибровочных моделях на решетке.
3. Изучить особенности конечнотемпературной квантовой теории в статическом пространстве де Ситтера.
4. На примере квантовой теории в пространстве-времени массивной идеально тонкой космической струны исследовать специфические квантовые эффекты, обусловленные конусоподобными сингулярностями фонового пространства.

### Научные результаты и новизна

В диссертации получены следующие результаты:

1. Найдена новая формулировка калибровочной теории с импульсным пространством постоянной кривизны, основанная на переходе к

координатному пространству с помощью разложения по представлениям группы движения  $p$ -пространства.

2. Полностью исследована эволюция струноподобных когерентных возбуждений калибровочного поля в электродинамике со статическими источниками. Показано, что в непрерывной электродинамике данные возбуждения неустойчивы и после излучения избыточной энергии превращаются в кулоновское поле источников, а в электродинамике Вильсона на решетке эти возбуждения стабильны в пределе сильной связи.

3. Показано, что сильный конфайнмент, случай, когда статические силы между зарядами описываются линейно растущим потенциалом, в электродинамике Вильсона на решетке не реализуется даже в пределе сильной связи.

4. Получены однопетлевые выражения для эффективного потенциала и полной, интегральной, энергии в конечнотемпературной скалярной теории поля в статическом пространстве де Ситтера, которые позволяют анализировать фазовую структуру теории вблизи температуры Хоукинга и в низкотемпературном пределе.

5. Свойства эффективного потенциала исследованы для модели  $\lambda\phi^4$  в пространстве де Ситтера. Установлено что, дискретная симметрия классической теории  $\phi \rightarrow -\phi$  всегда спонтанно нарушена в вакуумном состоянии, но восстанавливается при температуре Хоукинга, если кривизна пространства достаточно велика.

6. Показано, что в конечнотемпературной теории в статических пространствах с горизонтом событий интегральные величины типа эффективного действия на поверхности бифуркации горизонта приобретают дополнительные однопетлевые расходимости. В частности, это приводит к зависимости интегральной величины конформной аномалии следа тензора энергии-импульса от температуры, что установлено непосредственным вычислением.

7. Получено обобщенное асимптотическое разложение для следа ядра теплопроводности оператора Лапласа на конусе.

8. Вычислено однопетлевое эффективное действие скалярного поля, окружающего космическую струну и показано, что квантовые особенности пространства-времени приводят к появлению расходимостей действия на мировой поверхности струны, которые устраняются перенормировкой ее натяжения.

9. Установлена аналогия между квантовой теорией на простран-

ствах с коническими особенностями и квантовой теорией в присутствии границ. В обоих случаях однопетлевое эффективное действие включает расходящиеся поверхностные функционалы, причем перенормировкой последних можно устранить неинтегрируемую локальную сингулярность плотности энергии системы и получить конечную полную энергию.

10. Показано, что благодаря квантовым поправкам эффективное натяжение космической струны зависит от средней величины окружающего ее поля.

**Практическая ценность диссертации.** В диссертации исследован ряд квантовополевых моделей, имеющих приложение в калибровочных теориях и космологии.

В частности, найдена новая формулировка калибровочной теории с импульсным пространством постоянной кривизны радиуса  $M$ , который играет роль универсального высокоэнергетического масштаба теории. С этой точки зрения, предлагаемая схема может оказаться полезной для поиска адекватного обобщения существующих моделей на область сверхвысоких энергий.

Выполненное исследование ступообразных когерентных возбуждений калибровочного поля в КЭД со статическими источниками, включающее исследование электродинамики Вильсона на решетке, важно для последующего анализа эволюции и взаимодействия калибровочно-инвариантных нелокальных полевых структур в более сложной, неабелевой теории. Примером такой структуры в квантовой хромодинамике может служить упрощенная модель мезона — пара кварка и антикварка, соединенных между собой "струной".

Начатое в диссертации изучение особенностей конечнотемпературной теории в статическом пространстве де Ситтера имеет непосредственное приложение к космологии ранней Вселенной, привлекающей в последнее время внимание многих специалистов в области КТП. В частности, дальнейшее развитие этих результатов дало бы возможность исследовать фазовую структуру реалистических моделей Великого объединения применительно к ранней стадии эволюции Вселенной в произвольном состоянии, как это было сделано для температуры Хокинга.

Наконец, результаты диссертации, касающиеся квантовых эффек-

тов в окрестности космических струн, позволяют выявить детали взаимодействия струн с окружающими их полями. Учет этих эффектов необходим, поскольку подобные протяженные объекты могут служить источником первичных возмущений плотности вещества в ранней Вселенной, ответственных за образование галактик.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации опубликованы в работах, указанных в списке публикаций. Они докладывались на семинарах в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ, в университете г. Неаполя, в Институте физики Макса Планка в г. Мюнхене, на XVIII Международном коллоквиуме "Теоретико-групповые методы в физике" (Москва, 1990), на 25-ой Международной конференции по физике высоких энергий (Сингапур, 1990), на Международном семинаре "Кварки-92" (Звенигород, 1992), на Российской гравитационной конференции (Пушино, 1993), на Международном семинаре "Методы симметрии в физике" (Дубна, 1993) и на Международном фридмановском семинаре по гравитации и космологии (Санкт-Петербург, 1993).

**Структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основного содержания, заключения, шести приложений и одного рисунка, содержит список литературы (97 ссылок). Объем диссертации 123 страницы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дается краткий обзор известных результатов, формулируются и обосновываются задачи диссертации, а также излагается ее краткое содержание.

В **главе 1** найдена новая формулировка калибровочной теории с импульсным пространством Лобачевского

$$p_5^2 - p_4^2 - p_3^2 - p_2^2 - p_1^2 = M^2, \quad p_5 \geq M,$$

радиус кривизны которого, параметр  $M$ , трактуется как фундаментальная масса. Отличие нового подхода заключается в том, что для получения конфигурационного представления (КП) здесь использовано

обобщенное преобразование Фурье основанное на разложении по представлениям группы преобразований  $p$ -пространства (по когерентным состояниям группы  $SO(1,4)$ ).

В разделе 1 дается определение и изучаются свойства обобщенного интегрального преобразования Фурье на пространстве Лобачевского

$$\int \xi(\vec{p}, \tau, \vec{n}) \phi(\vec{p}) d\Omega_p \equiv \phi(\tau, \vec{n}) \quad , \quad d\Omega_p = \frac{d^4 p}{(1 + \vec{p}^2/M^2)^{1/4}} \quad ,$$

$$\xi(\vec{p}, \tau, \vec{n}) = \frac{1}{(2\pi)^2} \left( \frac{p_5 - \vec{p}\vec{n}}{M} \right)^{-3/2 - i\tau M} \quad ,$$

$$0 \leq \tau < \infty, \quad \vec{n}^2 = n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 + n_4^2 = 1 \quad .$$

Ядро этого преобразования играет роль плоских волн в обычном Фурье-анализе. Координатами нового КП являются вещественный параметр  $\tau$  и компоненты единичного 4-вектора  $\vec{n}$ . Поэтому в плоском пределе  $M \rightarrow \infty$  данная схема совпадает с евклидовой теорией поля, формулируемой в сферических координатах. В этом же разделе найден дифференциально-разностный оператор, выполняющий в новом конфигурационном представлении роль оператора Лапласа.

Используя этот лапласиан, в разделе 2 вводится положительно определенное действие для мультиплетов неэрмитовых скалярных полей. Свойство положительности действия можно установить непосредственно в КП, если деформировать контур интегрирования по параметру  $\tau$  в комплексную плоскость.

Калибровочные преобразования и поля, адекватные новому конфигурационному представлению, вводятся в разделе 3. Преобразования калибровочных переменных, представляющих в данной схеме аналог радиальной и угловой компонент векторного поля, существенно модифицируются и выглядят как комбинация обычных янг-миллсовских преобразований и преобразований, характерных для теории векторного поля на решетке.

В разделе 4 построен функционал действия калибровочных полей. Его особенность состоит в том, что в пределе, когда константа самодействия  $g$  стремится к нулю (в абелевом пределе), этот функционал может быть представлен как действие калибровочно-инвариантных декартовых векторных полей. Последнее совпадает по форме с действием для скалярного мультиплетов, рассматриваемого во втором разделе.

В разделе 5 обсуждается возможность аналогичной формулировки калибровочной теории со сферическим импульсным пространством. Показано, что, поскольку обобщенное интегральное преобразование Фурье здесь неунитарно, получаемые в такой схеме функционалы действия для различных полей теряют свойство положительной определенности. Последнее обстоятельство делает этот подход менее привлекательным.

Глава 2 диссертации посвящена исследованию эволюции струноподобных когерентных возбуждений калибровочного поля в калибровочных теориях, которые описываются экспоненциальными контурными интегралами (упорядоченными экспонентами)

$$P \left( \exp \left( i g \int_L A_\mu dx^\mu \right) \right) \quad .$$

Сама по себе постановка этой задачи достаточно сложна. К счастью, имеются точно решаемые калибровочные модели, где подобные струны существуют и где этот вопрос может быть исследован полностью. Это свободная квантовая электродинамика и квантовая электродинамика со статическими источниками.

Сначала в разделе 1 этой главы в качестве примера изучается эволюция произвольных когерентных возбуждений безмассового скалярного поля и демонстрируется их неустойчивость. Все расчеты затем легко обобщаются на электродинамику и позволяют выяснить судьбу "замкнутых струн"  $\exp(i \oint A_\mu dx^\mu)$  в свободной КЭД.

В разделе 2 решается проблема об эволюции "струны" в модели со статическими источниками ("струна с зарядами на концах"), которая важна для понимания природы этих возбуждений. Показано, что такие "струны" не сохраняют своей формы, превращаясь после излучения избыточной энергии в поле двух кулоновских источников.

В разделе 3 обсуждаются когерентные струноподобные возбуждения калибровочного поля в электродинамике Вильсона на решетке. В отличие от непрерывного случая эти возбуждения стабильны в пределе сильной связи. Поэтому в этом пределе имеет место закон площадей Вильсона, который обычно интерпретируется как конфайнмент теории. Показано, однако, что метод сильной связи не может быть использован для решения вопроса о конфайнменте, поскольку появление устойчивых струноподобных возбуждений не исключает другие

калибровочные конфигурации с меньшей энергией, отвечающие кулоновскому взаимодействию зарядов.

В 4 разделе следуют заключительные замечания по этой главе.

В главе 3 изучается скалярная квантовая теория поля в статическом пространстве де Ситтера при произвольной температуре, обозначаемой далее через  $\beta^{-1}$ . Анализ скалярного случая оказывается сравнительно простым и может помочь понять особенности более реалистических, калибровочных теорий. Эта глава построена следующим образом.

В разделе 1 описывается специфика квантования скалярного поля и каноническое распределение в статическом пространстве де Ситтера радиуса  $a$  с метрикой

$$ds^2 = \cos^2 \chi dt^2 - a^2(d\chi^2 + \sin^2 \chi d\theta^2 + \sin^2 \chi \sin^2 \theta d\xi^2),$$

где  $-\infty < t < +\infty$ ,  $-\pi \leq \chi \leq \pi$ ,  $0 \leq \theta, \xi \leq \pi$ . В этом пространстве можно ввести оператор энергии системы, который разделяется на две коммутирующие части, заданные в разных причинно не связанных частях пространства  $|\chi| < \pi/2$  и  $|\chi| > \pi/2$ . Это позволяет формулировать для каждой области независимые представления тепловых средних функциональными интегралами

$$\langle \hat{O} \rangle_\beta = Z_\beta^{-1} \int D\phi O[\phi] e^{-S_\beta(\phi)}, \quad Z_\beta = \int D\phi e^{-S_\beta(\phi)},$$

где  $S_\beta(\phi)$  – классическое действие теории. Оказывается, что интегрирование в них идет по полевым переменным, помещенным на компактное 4-мерное пространство  $S_\beta^4$  с евклидовой сигнатурой. Это пространство можно представить как "бесконечно обернутую" вокруг себя вдоль направления "мнимого" времени  $\tau$  гиперсферу  $S^4$  радиуса  $a$ , на которой отождествляются точки  $(\tau, x^i)$  и  $(\tau + \beta, x^i)$ . При температуре Хокинга, когда  $\beta = 2\pi a \equiv \beta_H$ , пространство  $S_\beta^4$  превращается в 4-сферу  $S^4$ . В общем случае оно имеет конические особенности на двумерной поверхности, где векторное поле Киллинга, генерирующее трансляции вдоль  $\tau$ , равно нулю.

В разделе 2 на основе интегральных представлений для средних вводится конечнотемпературный эффективный потенциал  $V(\phi, \beta)$ . Изучение спектра оператора Лапласа на  $S_\beta^4$  позволяет найти выражение для

$V(\phi, \beta)$  в однопетлевом приближении в виде разложения в ряд по температуре  $\beta^{-1}$ . Для этой цели мы используем метод регуляризации с помощью обобщенной  $\zeta$ -функции. В этом же разделе получены удобные для анализа однопетлевые выражения для потенциала  $V(\phi, \beta)$  и энергии поля (на единицу объема)  $E(\phi, \beta)$  в деситтеровски-инвариантном состоянии

$$V(\varphi, \beta_H) = V(\varphi) - \frac{3}{(4\pi)^2 a^4} \left[ -\frac{1}{3} \left( \int_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}+\sqrt{\Delta}} + \int_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}-\sqrt{\Delta}} \right) u(u - \frac{1}{2})(u - 1)\psi(u) du + \frac{1}{12}\Delta^2 + \frac{1}{72}\Delta + \log(\mu^2 a^2) \left( \frac{\Delta^2}{12} - \frac{\Delta}{24} - \frac{17}{2880} \right) + \log(V''(\varphi)\mu^{-2}) \right] + const,$$

$$E(\varphi, \beta_H) = V(\varphi) + \frac{3}{(4\pi)^2 a^4} \left\{ -\frac{1}{8}\Delta^2 + \frac{41}{144}\Delta - \frac{973}{5760} \right.$$

$$\left. + \frac{1}{12} \left( \frac{9}{4} - \Delta \right) \left( \frac{1}{4} - \Delta \right) [\psi(3/2 + \sqrt{\Delta}) + \psi(3/2 - \sqrt{\Delta}) - \log(\mu^2 a^2)] \right\}$$

и состоянии статического вакуума

$$V(\varphi, \infty) = E(\varphi, \infty) =$$

$$= V(\varphi) - \frac{3}{(4\pi)^2 a^4} \left[ \left( \int_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}+\sqrt{\Delta}} + \int_{\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}-\sqrt{\Delta}} \right) u \left( u - \frac{1}{2} - \sqrt{\Delta} \right) (u - 1)\psi(u) du + \frac{1}{36}\Delta^2 + \frac{7}{24}\Delta + \log(\mu^2 a^2) \left( \frac{\Delta^2}{12} - \frac{\Delta}{8} + \frac{17}{960} \right) \right] + const$$

( $V(\varphi)$  – классическая потенциальная энергия,  $\Delta \equiv 9/4 - a^2 V''(\varphi)$ ). Показано, что в пределе асимптотически малой кривизны пространства ( $a \rightarrow \infty$ ) они совпадают с вакуумным эффективным потенциалом в пространстве Минковского.

В качестве демонстрации применения этих результатов в разделе 3 изучается фазовая структура в конкретной модели самодействующего скалярного поля  $\lambda\phi^4$  в зависимости от кривизны пространства и температуры. Показано, что в состоянии статического вакуума симметрия, присущая классической теории, всегда спонтанно нарушена. С другой стороны, при температуре Хокинга устойчивая симметричная фаза появляется при некоторой достаточно большой кривизне пространства.

В разделе 4 изучаются масштабные свойства теории и получено выражение для интеграла конформной аномалии тензора энергии-импульса. Демонстрируется, что наличие горизонта событий, ограничивающего статическую систему отсчета, приводит к специфическому эффекту – зависимости интегральной аномалии от температуры

$$\int_V d^3x \sqrt{-g} T_\sigma^\sigma(\beta, x) = \frac{1}{720\pi a} \left( 3 + (\beta_H/\beta)^4 \right),$$

причем при температуре Хокинга восстанавливается стандартный результат. Это соответствует появлению в интегральных величинах типа эффективного действия или полной энергии дополнительных ультрафиолетовых расходимостей, заданных на двумерной поверхности бифуркации горизонта.

Формальной причиной возникновения этих поверхностных расходимостей является наличие конических особенностей сферической области  $S^2_\beta$ , на которой заданы переменные интегрирования в функциональном интеграле для средних. Их последствия в "чистом виде" можно обнаружить, анализируя квантовые эффекты на конусе. Такой конической геометрией обладает пространство-время вокруг массивной бесконечно тонкой струны. Исследованию вакуумных квантовых эффектов около космических струн посвящена глава 4.

Для изучения однопетлевых расходимостей, порождаемых сингулярностями пространства, в разделе 1 получено обобщенное асимптотическое разложение для следа ядра теплопроводности оператора Лапласа на конусе. Тепловые коэффициенты этого разложения в вершине конуса имеют особенность типа дельта-функции.

Используя этот результат, в разделе 2 получено однопетлевое эффективное действие скалярного поля, окружающего бесконечно тонкую космическую струну. Этот функционал кроме стандартного вклада включает дополнительное расходящееся выражение, поверхностное действие, заданное на мировой поверхности струны. Показано, что в данном случае от поверхностных расходимостей можно избавиться перенормировкой параметра натяжения струны, причем полная перенормированная энергия после этого оказывается конечной. Кроме того, демонстрируется, что благодаря квантовым поправкам эффективное натяжение  $\mu_{eff}$  космической струны зависит от средней величины окру-

жающего ее поля  $\varphi$  и для модели  $\lambda\phi^4$  имеет вид

$$\mu_{eff} = \mu - \frac{\hbar}{32\pi^2} \alpha C_2(\alpha) (m^2 + \lambda\varphi^2/2) \left( \log \left( \frac{m^2 + \lambda\varphi^2/2}{m^2} \right) - \frac{1}{2} \right),$$

где  $C_2(\alpha)$  – некоторая дробно-рациональная функция от классического параметра натяжения  $\mu$ , а  $m$  – масса поля.

Результаты этого раздела указывают на интересную аналогию с квантовой теорией на пространстве с границами, на которых возникают дополнительные расходимости, приводящие к перенормировке так называемого действия поверхностной гравитации. В разделе 3 эта аналогия продолжается еще дальше и демонстрируется, что конечность полной перенормированной энергии есть результат сокращения известной неинтегрируемой особенности в плотности энергии поля с контрчленом в "голом" натяжении струны.

В разделе 4 следует краткое обсуждение этих эффектов.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации и намечены нерешенные проблемы.

Технические детали вынесены в приложения. В приложении А вводится определение декартовых компонент калибровочного поля, рассматриваемого в главе 1. Приложение В содержит некоторые определения, необходимые в главе 2 для исследования КЭД на решетке. Спектр оператора Лапласа на пространствах  $S^2_\beta$  найден в приложении С. В приложениях D и E обсуждаются свойства  $\zeta$ -функции при  $\beta \simeq \beta_H$  и  $\beta = \infty$  (см. главу 3). Наконец, в приложении F сравниваются свойства  $\zeta$ -функций на конусе и на пространстве  $S^2_\beta$ .

## Список публикаций

1. Кадышевский В.Г., Фурсаев Д.В. Об одном обобщении калибровочного принципа в области высоких энергий: ТМФ 1990. т.83. с.197-206.
2. Fursaev D.V. Kadyshevsky V.G., Ibadov R.M. *The rotation invariant gauge model with the compact momentum space*: Proc. of the 25 Int. Conf. on High Energy Physics, Singapore 1990, v.2. p.928-932.
3. Fursaev D.V., Prokhorov L.V., Shabanov S.V. *String-like excitations in QED*: Mod. Phys. Lett. 1992. v.A7 p.3441-3447.
4. Прохоров Л.В., Шабанов С.В., Фурсаев Д.В. *Струноподобные возбуждения в квантовой электродинамике и метод сильной связи*: ТМФ 1993. т.97. с.373-385.
5. Fursaev D.V., Miele G. *Finite-temperature scalar field theory in static de Sitter space*: Phys. Rev. 1994. v.D49. p.987.
6. Fursaev D.V. *The heat kernel expansion on a cone and quantum fields near cosmic strings*: preprint JINR E2-93-291, Dubna 1993.
7. Fursaev D.V. *Local and global quantum effects near cosmic strings*: Письма ЖЭТФ 1993. т.58. с.481-487.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 января 1994 года.