

К 14



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**УДК 530.145**

**2-87-844**

**КАЗАКОВ**  
**Дмитрий Игоревич**

**КОНЕЧНЫЕ СУПЕРСИММЕТРИЧНЫЕ МОДЕЛИ  
КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ**

· **Специальность: 01.04.02 - теоретическая  
и математическая физика**

**Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук**

**Дубна 1987**

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,  
профессор

ВАСИЛЬЕВ  
Александр Николаевич

доктор физико-математических наук,  
профессор

ФАЙНБЕРГ  
Владимир Яковлевич

доктор физико-математических наук,  
профессор

ОГИВЕЦКИЙ  
Виктор Исаакович

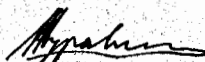
Ведущая организация - Институт теоретической и экспериментальной физики /Москва/

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1988 г. на заседании специализированного совета Д047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Автореферат разослан "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1988 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат физико-математических наук

  
В.И. ЖУРАВЛЕВ

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современная физика элементарных частиц пронизана идеей симметрии. Общепринято, что симметрия возрастает с ростом энергии или с уменьшением расстояния. Гипотеза Великого объединения основывается на предположении, что сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия объединяются в единое взаимодействие, основанное на простой калибровочной группе симметрии. Однако стандартные теории Великого объединения оставляют много нерешенных проблем и большой произвол в выборе параметров. В отсутствие прямых экспериментальных проверок основным критерием правильности теории становятся ее эстетическая привлекательность и внутренняя самосогласованность. В то же время полное объединение, очевидно, должно включать и гравитацию. На этом пути, однако, имеются значительные трудности, и прежде всего проблема расходимостей.

Новые возможности появились в связи с возникновением суперсимметричных моделей квантовой теории поля. Равенство числа бозонных и фермионных степеней свободы в таких теориях приводит к замечательному свойству - сокращению многих расходимостей. Этот факт находит свое отражение в существовании так называемых теорем о неперенормировке, что нагляднее всего проявляется в явно суперполевым формализме.

Большие надежды в построении самосогласованной теории, включающей и гравитацию, возлагаются сейчас на идею суперструны. В этом подходе фундаментальным объектом теории является суперсимметричная струна. Спектр ее нормальных мод определяет спектр элементарных частиц эффективной локальной теории. Теория суперструны, вероятно, свободна от расходимостей, что, в свою очередь, может привести к конечной локальной теории на планковском масштабе и далее к конечной теории Великого объединения. Однако на этом пути еще остается много нерешенных проблем, и прежде всего проблема компактификации. Множество вариантов компак-

тификации не позволяет пока сделать определенный выбор и не дает однозначного пути редукции суперструнной теории до теории Великого объединения.

К этой проблеме можно подойти и с другой стороны - со стороны низких энергий, пытаясь построить теорию поля, свободную от ультрафиолетовых расходимостей. Эта давняя мечта создателей квантовой теории поля наконец-то нашла свое воплощение в рамках суперсимметричных моделей. Построение таких моделей открывает возможность описания взаимодействий элементарных частиц на основе объединенных суперсимметричных конечных теорий. Привлекательной стороной этих моделей является их выделенность среди прочих объединительных схем, жесткость предсказаний, а также возможность в перспективе объединения с супергравитацией.

Построение докальной квантовой теории поля, свободной от ультрафиолетовых расходимостей, представляет интерес не только с точки зрения описания взаимодействий элементарных частиц. Отсутствие расходимостей позволяет придать смысл формальным выражениям в представлении взаимодействия, таким, как векторы состояний, гамильтониан и т.п. Тем самым неформальный смысл приобретает и само представление взаимодействия. Эта хорошо известная проблема в квантовой теории поля, обычно игнорируемая в современных прагматических подходах, находит свое решение в конечных теориях.

Целью диссертации является построение и исследование моделей квантовой теории поля, конечных во всех порядках теории возмущений, и применение их к описанию взаимодействий элементарных частиц.

Научная новизна. В диссертации решается проблема построения и проводится исследование моделей квантовой теории поля, ультрафиолетово-конечных во всех порядках теории возмущений. Разработан метод построения конечных теорий, приведший к открытию  $N=1$  суперсимметричных моделей, свободных от ультрафиолетовых расходимостей. Предложены реалистические модели Великого объединения взаимодействий. Требование конечности оказывается весьма ограничительным и выделяет калибровочные группы  $SU_5$ ,  $SU_6$ ,  $SO_{10}$  и  $E_6$  в качестве реальных кандидатов на роль теории Великого объединения. При этом предсказывается число поколений и хиггсовский сектор модели.

Для анализа поведения теории при высоких энергиях оказывается необходимым вычисление радиационных поправок к параметрам моделей. В диссертации разработан эффективный метод многопетлевых вычислений в квантовой теории поля - метод уникальностей. Метод представляет самостоятельный интерес и имеет широкую область применимости. С помощью этого метода впервые в мировой литературе проведены многопетлевые расчеты в ряде квантовополевых теорий.

Существование суперсимметричных теорий, в которых реализуется предложенный метод построения конечных моделей, неоднократно подвергалось сомнению в связи с проблемой квантовых аномалий. Это относится как к аномалиям самой суперсимметрии, так и к киральным аномалиям в суперсимметричных теориях. В диссертации установлено отсутствие аномалий суперсимметрии в расширенных суперсимметричных теориях. Показано, что конечное переопределение параметров теории позволяет восстановить суперсимметрию, нарушенную неинвариантной регуляризацией. Этот же механизм лежит в основе получения конечных теорий.

На основе корректного анализа перенормировочной процедуры впервые установлена непротиворечивость киральных аномалий в суперсимметричных теориях. В общем виде найдена связь между аксиальным током и супертоком, справедливая во всех порядках теории возмущений.

На основе ренормгруппового анализа впервые установлено общее свойство ультрафиолетовой неустойчивости суперсимметрии и полученных на ее основе конечных теорий. Это свойство имеет важное значение для построения реалистических моделей взаимодействия элементарных частиц, ибо накладывает жесткие ограничения на возможные способы нарушения симметрии.

Практическая ценность. Результаты исследований, проведенных в диссертации, уже нашли свое применение. Метод уникальностей применяется при вычислении многопетлевых диаграмм в квантовой хромодинамике, в двумерных нелинейных сигма-моделях и других теориях. Метод построения конечных теорий, особенно его формулировка в терминах затравочных зарядов, также оказался весьма плодотворным и нашел приложение в построении конформно-инвариантных сигма-моделей, возникающих в теориях суперструны.

Полученные результаты открывают новое направление в описании взаимодействий элементарных частиц на основе объединенных суперсимметричных моделей квантовой теории поля без ультрафиолетовых расходимостей. Экстремальная точка зрения состоит в том, что только такие теории имеют отношение к реальности, а наличие расходимостей в стандартных моделях связано с пренебрежением вкладом тяжелых частиц.

#### НА ЗАЩИТУ ВЫДВИГАЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ:

1. Предложен метод построения моделей квантовой теории поля, конечных во всех порядках теории возмущений. Метод позволяет получить широкий класс  $N=1$  суперсимметричных калибровочных теорий, свободных от ультрафиолетовых расходимостей.

Даны две формулировки метода: нелинейная, основанная на особых решениях уравнений ренормгруппы для перенормированных зарядов, и линейная,

использующая размерную регуляризацию и устанавливающая связи между затравочными зарядами.

Найдены необходимые и достаточные условия конечности суперсимметричных калибровочных теорий, определяемые однопетлевым приближением. Доказана теорема, гарантирующая сокращение расходимостей во всех порядках теории возмущений при выполнении указанных условий.

2. Предложенный метод применен к построению реалистических конечных теорий Великого объединения. Установлено, что требование конечности ограничивает возможные калибровочные группы симметрии четырьмя вариантами:  $SU_5$ ,  $SU_6$ ,  $SO_{10}$  и  $E_6$ . В таких теориях, характеризуемых единственной константой связи, предсказывается число поколений и фиксирован хиггсовский сектор. Изучены возможные реалистические модели Великого объединения, удовлетворяющие критерию конечности. Проведены расчеты юквских констант связи.

3. Разработан эффективный метод многопетлевых вычислений в квантовой теории поля - метод уникальностей. Этим методом:

а/ проведены рекордные в мировой литературе пятипетлевые вычисления ренормгрупповых функций в скалярной модели;

б/ проведены трехпетлевые вычисления продольной структурной функции глубоконеупругого рассеяния лептонов на адронах в рамках квантовой хромодинамики;

в/ проведены трехпетлевые вычисления ренормгрупповых функций в суперсимметричных моделях;

г/ проведены не имеющие аналогов пятипетлевые вычисления обобщенных  $\beta$ -функций в двумерной  $N=2$  суперсимметричной нелинейной сигма-модели.

4. Установлено отсутствие аномалий суперсимметрии в многопетлевом приближении в расширенных суперсимметричных теориях. Показано, что суперсимметрия восстанавливается конечным переопределением параметров теории.

5. Установлено, что аксиальные аномалии не противоречат суперсимметрии в высших порядках теории возмущений и не разрушают суперсимметрию. Найдена связь между аксиальным током и супертоком, справедливая во всех порядках теории возмущений.

6. Дан общий ренормгрупповой анализ устойчивости глобальной симметрии в калибровочных моделях квантовой теории поля. Показано, что глобальной симметрии /в том числе суперсимметрии/ соответствуют ультрафиолетово-неустойчивые и инфракрасно-устойчивые особые решения уравнений ренормгруппы в фазовом пространстве зарядов. Конечные теории также представляют собой ультрафиолетово-неустойчивые траектории в фазовом пространстве.

Апробация диссертации. Основные результаты диссертации докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований /Дубна/, Института теоретической и экспериментальной физики /Москва/, Физического института АН СССР /Москва/, Института ядерных исследований АН СССР /Москва/, Математического института АН СССР /Москва/, Научно-исследовательского института ядерной физики МГУ /Москва/, Научно-исследовательского физического института ЛГУ /Ленинград/, Института теоретической физики АН УССР /Киев/, Института теоретических исследований Хельсинкского университета /Финляндия/, Аспенского физического центра /США/, на научных сессиях Отделения ядерной физики АН СССР в 1975-1986 гг., на конференциях "Структура адронов - 75, 82" /ЧССР, Смоленце 1975 г., 1982 г./, "Хромодинамика-82" /Новороссийск, 1982 г./, "Проблемы физики высоких энергий и теории поля" /Протвино 1983 г., 1984 г./, "Ренормгруппа-86" /Дубна 1986 г./, Международной конференции по физике высоких энергий Европейского физического общества /Италия, Бари, 1985 г./, на XII Зимней школе ИТЭФ /Москва, 1984 г./, на Зимней школе в Бакуриани /1986 г./, на I Республиканской школе молодых ученых /Киев, 1987 г./, на заседаниях Ученого совета по теоретической физике ОИЯИ /1984 г., 1985 г./.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 18 статей.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав основного содержания и заключения. Она содержит 147 страниц машинописного текста, включающего 22 рисунка и библиографический список литературы из 129 названий.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится обоснование актуальности проведенных в диссертации исследований, постановка проблемы, а также дано краткое изложение содержания работы.

В первой главе рассматривается поведение эффективных зарядов в калибровочных теориях. Вводится фазовое пространство зарядов и изучаются особые решения многозарядных уравнений ренормгруппы в фазовом пространстве вида

$$Y_i = f_0^i \cdot g \quad (1)$$

Показана роль юквских констант связи в существовании особых решений, играющих ключевую роль в построении конечных теорий. Указано влияние высших приближений теории возмущений, приводящих к искривлению прямолинейных траекторий (1) вида

$$Y_i = f^i(g) = f_0^i \cdot g + f_1^i \cdot g^2 + f_2^i \cdot g^3 + \dots \quad (2)$$

Во второй главе изучаются вопросы устойчивости особых решений уравнений ренормгруппы по отношению к начальным данным и высшим приближениям. Устанавливается связь инфракрасно устойчивых особых решений с глобальными симметриями теории. Доказывается общее утверждение, что глобальная симметрия, в том числе и суперсимметрия, всегда инфракрасно устойчива и ультрафиолетово-неустойчива. Рассматривается ряд примеров реализации глобальной симметрии на особых решениях уравнения ренормгруппы в фазовом пространстве эффективных зарядов:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} (\partial_\mu \varphi_i)^2 - \frac{1}{4!} h_{ijkl} \varphi_i \varphi_j \varphi_k \varphi_l; \quad i, j, k, l = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

$$O(n)\text{-симметрия: } h_{iiii} = h, \quad h_{ijij} = h_{ijji} = \dots = \frac{1}{3} h;$$

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} (\partial_\mu A)^2 + \frac{1}{2} (\partial_\mu B)^2 + \bar{\psi}_j i \hat{\sigma} \psi_j + Y_A \bar{\psi}_j A \psi_j \quad (4)$$

$$+ Y_B \bar{\psi}_j \gamma^5 B \psi_j - \frac{h_A}{4!} A^4 - \frac{h_B}{4!} B^4 - \frac{h_{AB}}{4} A^2 B^2, \quad j = 1, 2, \dots, k;$$

$$\text{суперсимметрия: } Y_A = Y_B = Y; \quad h_A = h_B = 3Y^2, \quad h_{AB} = Y^2, \quad k = \frac{1}{2}.$$

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & -\frac{1}{4} F_{\mu\nu}^a F_{\mu\nu}^a + i \bar{\psi} \hat{D} \psi + \frac{1}{2} (D_\mu A)^2 + \frac{1}{2} (D_\mu B)^2 \\ & + Y_A \bar{\psi} T^a A \psi + Y_B \bar{\psi} \gamma^5 T^a B \psi - h_A (A^a A^a)^2 - \\ & - h_B (B^a B^a)^2 - 2h_{AB} (A^a A^a)(B^b B^b) - h \epsilon^{abc} \epsilon^{ade} A^b A^c A^d B^e; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{суперсимметрия: } h_A = h_B = h_{AB} = 0, \quad h = \frac{1}{2} g^2, \quad Y_A = Y_B = g.$$

В третьей главе дается развитие метода вычислений многопетлевых диаграмм, получившего название метода "уникальностей". Излагаются основы метода, демонстрируются существующие приемы вычисления фейнмановских интегралов: соотношение уникальностей, преобразование индексов, интегрирование по частям, метод таблиц, функциональные уравнения. Приводятся полезные формулы, облегчающие практическое применение метода уникальностей, полученные автором, а также имеющиеся в литературе. Метод распространен на диаграммы с произвольным числом производных /импульсов/ на линиях, встречающиеся в калибровочных теориях. Рассматриваются примеры вычисления диаграмм, приводятся результаты применения метода к вычислению ряда величин в скалярных, калибровочных, суперсимметричных и двумерных нелинейных теориях. В частности, вычислена пятипетлевая  $\beta$ -функция в теории  $\phi^4$ , пятипетлевая обобщенная  $\beta$ -функция в дву-

мерной  $N=2$  суперсимметричной нелинейной сигма-модели, трехпетлевые вклады в продольную структурную функцию глубокоэластичного рассеяния лептонов на адронах в квантовой хромодинамике.

Четвертая глава посвящена проблеме аномалий суперсимметрии в суперсимметричных и расширенных суперсимметричных теориях. Изучается роль инвариантной регуляризации, в частности, обсуждается взаимоотношение размерной регуляризации и регуляризации с помощью размерной редукции. Найдена связь между зарядами в обеих регуляризациях, а также проведено вычисление двухпетлевых  $\beta$ -функций в редуцированной модели

$$S = \int d^D x \left\{ -\frac{1}{4} F_{\alpha\beta}^a F_{\alpha\beta}^a + i \lambda^a \Gamma^d D_\alpha^{ab} \lambda^b \right\}, \quad (6)$$

где размерность пространства  $D = 4, 6, 10$ , что соответствует  $N = 1, 2, 4$  /расширенной/ суперсимметричной минимальной теории.

На основе сопоставления этих результатов установлено, что аномалии суперсимметрии в высших порядках теории возмущений отсутствуют, и показано, что суперсимметрия восстанавливается конечной подстройкой параметров теории вида (2), где  $Y$  - юксовская, а  $g$  - калибровочная константа связи.

В пятой главе решается проблема аксиальной аномалии в суперсимметричных калибровочных теориях. Установлена связь между аномалией аксиального тока в калибровочной теории

$$\partial_\mu j_\mu^5 = -a F_{\mu\nu} \tilde{F}_{\mu\nu} \quad (7)$$

и аномалией супертока в  $N=1$  суперсимметричной минимальной теории Янга-Миллса

$$\bar{D}^{\dot{\alpha}} J_{\alpha\dot{\alpha}} = \frac{1}{3} \frac{\beta(a)}{a} D_\alpha W^2. \quad (8)$$

Найдено соотношение между аксиальным током и соответствующей компонентой супертока, справедливое во всех порядках теории возмущений

$$J_\mu^5 = \exp\left(-\int_0^a \frac{\gamma(a)}{\beta(a)} da\right) j_\mu^5, \quad (9)$$

где  $\gamma(a)$  - аномальная размерность тока  $j_\mu^5$ , а  $\beta(a)$  -  $\beta$ -функция в суперсимметричной теории.

Показано, что аксиальная аномалия и суперконформная аномалия непротиворечивы. Это означает, что аномалии не разрушают суперсимметрию. Обсуждаются аномалии в неминимальной теории.

В шестой главе предлагается метод построения суперсимметричных моделей квантовой теории поля, конечных во всех порядках теории возмущений. Найдены необходимые и достаточные условия конечности, определяемые уже однопетлевым приближением:

$$\sum_R T_R = 3C_G, \quad \text{rank } B_1 = N, \quad f_{00}^i > 0, \quad (10)$$

где  $T_R$  - оператор Казимира супермультиплетов полей материи, определяемой равенством  $T_R R^a R^b = f^{ab} T(R)$ ;  $C_G$  - квадратичный оператор Казимира группы симметрии  $G$ ;  $B_1$  - однопетлевая матрица аномальных размерностей полей материи,  $N$  - число независимо перенормируемых полей;  $f_{00}^i$  - однопетлевые коэффициенты пропорциональности в (12), (13).

Доказана теорема, что суперсимметричная калибровочная теория, задаваемая действием

$$S = \int d^4x \left[ \int d^2\theta d^2\bar{\theta} \bar{\Phi}_a (e^{gV})_a^b \Phi^b - \frac{t\tau}{g^2 C_G} \int d^2\theta W^a W_a + \int d^2\theta \frac{1}{3!} d_{abc} \Phi^a \Phi^b \Phi^c + \text{h.c.} + \text{gauge-fixing+ghost} \right], \quad (11)$$

может быть сделана конечной соответствующим выбором юквских констант связи, если выполнены условия (10). Даны две формулировки метода: нелинейная, основанная на особых решениях уравнений ренормгруппы для перенормируемых зарядов вида

$$Y_i = f^i(g) = f_{00}^i g + f_{10}^i g^2 + \dots, \quad (12)$$

и линейная, использующая размерную регуляризацию и устанавливающая связь между затравочными зарядами

$$Y_i = f_0^i(\epsilon) g = (f_{00}^i + \epsilon f_{01}^i + \dots) g. \quad (13)$$

Установлена связь между обеими формулировками в виде конечной перенормировки заряда.

В седьмой главе рассматриваются возможные конечные суперсимметричные теории Великого объединения, построенные на основе предложенного алгоритма. Показано, что требование конечности и реалистичности оставляет весьма ограниченный набор возможностей, исчерпываемый группами калибровочной симметрии  $SU_5$ ,  $SU_6$ ,  $SO_{10}$  и  $E_6$ . Рассмотрены возможные реалистические модели Великого объединения, основанные на этих группах,

удовлетворяющие критерию конечности и содержащие небольшое число поколений кварков и лептонов. Проведены расчеты юквских констант связи в этих моделях. Обсуждается обшая ренормгрупповая картина эволюции зарядов при нарушении симметрии.

В заключении подводятся итоги и сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. V.V.Belokurov, D.I.Kazakov, D.V.Shirkov, A.A.Slavnov, A.A.Vladimirov. Ultraviolet asymptotics in spontaneously broken gauge theories.- Phys.Lett.B, 1973, v. 47, No. 4, pp. 359-361. (JINR preprint E2-7320, Dubna, 1973, 7 p.) (Ультрафиолетовые асимптотики в спонтанно нарушенных калибровочных теориях).
2. В.В.Белокуров, А.А.Владимиров, Д.И.Казаков, А.А.Славнов, Д.В.Ширков. Ультрафиолетовые асимптотики в присутствии неабелевых калибровочных полей. - ТМФ, 1974, т. 19, № 2, сс. 149-165. (JINR preprint E2-7562, Dubna, 1973, 28 p.).
3. D.I.Kazakov, D.V.Shirkov. Singular Solutions of renormalisation group equations and the symmetry of the Lagrangian. - Proceedings of the Conference "Hadron Structure-75", Bratislava 1976, pp. 255-275 (JINR preprint E2-8974, Dubna, 1975, 23 p.) (Особые решения уравнений ренормгруппы и симметрии лагранжиана).
4. D.I.Kazakov. Infrared stability and global symmetry.- JINR preprint E2-82-880, Dubna, 1982, 12 p. (Инфракрасная устойчивость и глобальная симметрия).
5. Д.И.Казаков. Вычисление фейнмановских интегралов методом уникальностей.- ТМФ, 1984, т. 58, № 3, сс. 343-353. (JINR preprint E2-83-323, Dubna, 1983, 12 p.).
6. D.I.Kazakov, The method of uniqueness, a new powerful technique for multiloop calculations.- Phys.Lett.B, 1983, v. 133, No. 6, pp. 406-410 (Метод уникальностей - новый мощный метод многопетлевых вычислений).
7. Д.И.Казаков. Многопетлевые вычисления: метод уникальностей и функциональные уравнения.- ТМФ, 1985, т. 62, № 1, сс. 127-135 (JINR preprint E2-83-839, Dubna, 1983, 11 p.).
8. Д.И.Казаков. Аналитические методы многопетлевых вычислений /две лекции по методу уникальностей/.- Труды XII Зимней школы ИТЭФ, М. 1985, сс. 3-25. (JINR preprint E2-84-410, Dubna, 1984, 24 p.).
9. Д.И.Казаков, А.В.Котиков. Метод уникальностей: многопетлевые вычисления в КХД.- ТМФ, 1987, т. 73, № 3, сс.348-361 (JINR preprint E2-86-204, Dubna, 1986, 15 p.).

10. L.V.Avdeev, D.I.Kazakov, O.V.Tarasov. No anomaly is observed.- JINR preprint E2-84-479, Dubna, 1984, 5 p. (Аномалия не наблюдается).
11. Д.И.Казаков. К проблеме аксиальной аномалии в суперсимметричных калибровочных теориях.- Письма в ЖЭТФ, 1985, т. 41, вып. 6, сс. 272-274 (JINR preprint E2-84-842, Dubna, 1984, 4 p.).
12. D.I.Kazakov, B.T.Sazdovic, O.V.Tarasov. Resolution of axial anomaly problem in supersymmetric gauge theories.- Proceeding of the International Conference on High Energy Physics, HEP-85, Bary, Italy, 1986, pp. 99-103. (Препринт ОИЯИ P2-84-847, Дубна, 1984, 6 с.) (Решение проблемы аксиальной аномалии в суперсимметричных калибровочных теориях).
13. Д.И.Казаков. Аномалии и суперсимметрия.- Препринт ОИЯИ P2-85-10, Дубна, 1985, 11 с.
14. A.V.Ermushev, D.I.Kazakov, O.V.Tarasov. Construction of finite  $N=1$  supersymmetric Yang-Mills theories.- JINR preprint E2-85-794, Dubna, 1985, 6 p. (Построение конечных  $N=1$  суперсимметричных теорий Янга-Миллса).
15. A.V.Ermushev, D.I.Kazakov, O.V.Tarasov. Finite  $N=1$  Supersymmetric Grand Unifed Theories.- Nucl.Phys.B, 1987, v. 281, No. 1, 2, pp. 72-84 (JINR preprint E2-86-17, Dubna, 1986, 14 p.) (Конечные  $N=1$  суперсимметричные теории Великого объединения).
16. D.I.Kazakov. Finite  $N=1$  SUSY field theories and dimensional regularization.- Phys.Lett.B, 1986, v. 179, No. 4, pp. 352-354 (Конечные  $N=1$  суперсимметричные теории поля и размерная регуляризация).
17. M.T.Grisaru, D.I.Kazakov, D.Zanon. Five-loop divergences in  $N=2$  supersymmetric nonlinear sigma-model.- Nucl.Phys.B, 1987, v. 287, No. 1, pp. 189-204. (Harvard/Brandeis preprint, HUTP-86 A076, BRX TH-214, Cambridge, 1986, 23 p.) (Пятипетлевые расходимости в  $N=2$  суперсимметричной нелинейной сигма-модели).
18. D.I.Kazakov. Finite  $N=1$  Supersymmetric gauge field theories.- Modern Phys.Lett.A, 1987, v. 2, No. 9, pp. 663-674 (JINR preprint E2-86-816, Dubna, 1986, 16 p.) (Конечные  $N=1$  суперсимметричные калибровочные теории поля).

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 декабря 1987 года.