

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

11-92-181

ЗАДОРЖНЫЙ
Александр Михайлович

**РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ
РЕШЕТОЧНОЙ КАЛИБРОВОЧНОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ
МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность: 05.13.16

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

Дубна 1992

Работа выполнена в Лаборатории Вычислительной Техники и Автоматизации Объединенного Института Ядерных Исследований

Научные руководители:

Доктор физико-математических наук профессор Жидков Евгений Петрович

Кандидат физико-математических наук старший научный сотрудник Митрюшкин Валентин Константинович

Официальные оппоненты:

Доктор физико-математических наук профессор Гребеников Евгений Александрович

Доктор физико-математических наук старший научный сотрудник Макеенко Юрий Марленович

Ведущая организация: ИФВЭ

Автореферат разослан 20.07.92 1992 г.

Защита состоится 5.08.92 1992 г.

в 10.30 на заседании Специализированного совета Д047.01.04 при Лаборатории Вычислительной Техники и Автоматизации ОИЯИ, г. Дубна Московской области.

Ученый секретарь совета

кандидат физико-математических наук Иванченко З.М. Иванченко

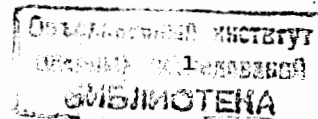
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность. В настоящее время считается общепринятым, что калибровочные теории поля являются адекватным инструментом для изучения физики высоких энергий. В значительной степени такие представления связаны с появлением и развитием квантовой хромодинамики, обладающей свойствами асимптотической свободы и конфайнмента, а также с созданием перенормируемых объединенных теорий. Многие интересные и важные проблемы калибровочных полей и физики высоких энергий остаются за пределами традиционных подходов и требуют привлечения более общих непертурбативных методов. К числу таких проблем принадлежат исследования природы конфайнмента, структуры вакуума КХД, термодинамики сильновзаимодействующей материи, механизмов фазовых переходов при конечной температуре и плотности, а также понимание хиггсовского сектора калибровочных теорий, тесно связанного с механизмом возникновения масс и играющего ключевую роль в современных моделях образования вселенной. В связи с важностью этих проблем актуальны непертурбативные исследования калибровочных полей.

Цель работы. Основной целью данной работы было непертурбативное исследование фазовых переходов и топологических свойств вакуума калибровочных теорий методом численного моделирования.

Научная новизна и практическая ценность.

Впервые путем численных экспериментов на ЭВМ в трехмерной области параметров исследованы фазовые диаграммы решеточных хиггс - калибровочных теорий с $SU(3)$ симметрией со скалярным полем в фундаментальном представлении и $SU(2)$ симметрией со



скалярным полем в присоединенном представлении (модель Джорджи-Глэшоу). Результаты легли в основу проверки точности приближенных исследований фазовой структуры хиггс-калибровочных моделей другими авторами.

Предложен метод численного исследования глюодинамики в окрестности температурного фазового перехода "конфайнмент - деконфайнмент", позволяющий повысить точность определения критической температуры ϑ_c и критических индексов на конечной решетке. Метод дает качественный критерий влияния конечного объема и позволяет вычислять восприимчивость как в области выше, так и ниже критической температуры.

Впервые без приближения сильной связи (численно) исследовано поведение хромомэлектрических и хромагнитных компонент термодинамических функций глюодинамики при температурах выше ϑ_c . Обнаружено качественно различное поведение компонент в зависимости от температуры. Показано, что для корректного описания термодинамики фазового перехода необходимо учитывать как хромомэлектрические, так и хромагнитные компоненты калибровочного поля.

Впервые в окрестности температурного фазового перехода вычислена теплоемкость для SU(2) глюодинамики.

Методом численного моделирования на ЭВМ показано, что динамика магнитных флуктуаций в модели Джорджи - Глэшоу существенно различается в разных фазах теории. Установлено, что симметричная фаза с большим модулем скалярного поля не реализуется в непрерывной теории. Структура вакуума в хиггсовской фазе соответствует картине "спагетти" вихрей магнитного потока.

Численно показано, что в SU(2) решеточной калибровочной теории дислокации вносят несущественный вклад в топологическую восприимчивость χ_t , и восприимчивость в пределах достигнутой точности оказывается одинаковой для вильсоновского и "улучшенного" решеточного действия.

Представляет интерес полученный опыт организации ресурсоемких вычислений, в частности, с использованием параллельных устройств на базе ЛВТА ОИЯИ.

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались на семинарах по теории поля в ЛТФ ОИЯИ, физических семинарах ЛВТА ОИЯИ, ИЯИ, ИФВЭ и ИТЭФ. На конференциях "Кварки-86", Тбилиси, 1986; "Nonperturbativ Methods in Quantum Field Theory", Siófok, Hungary, 1986; "Проблемы физики высоких энергий и теории поля", Протвино, 1987-88 гг.; "International Symposium Ahrenshoop of the Theory of Elementary Particles", 1987-88 гг.; "Проблемы квантовой теории поля", Дубна, 1988, 1990 гг.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и двух Приложений, содержит 102 страницы машинописного текста и 28 рисунков. Список литературы включает 84 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении сформулированы основные понятия решеточной калибровочной теории (РКТ) поля. В частности, приводится определение *физической наблюдаемой* N в терминах РКТ как среднего от функционала по конфигурациям решеточного поля $\{U_1\}$:

$$N = \langle N \rangle_{\{U_1\}} = \frac{1}{Z} \int N(\{U_1\}) \exp(-S(\{U_1\})) \prod_1 d\mu(U_1)$$

где Z - нормировочный фактор, S - действие, а $\mu(U)$ - мера Хаара на группе SU_N . Обсуждены основы применения методов численного моделирования для решения задач РКТ.

Дано краткое введение в круг физических проблем затронутых в диссертации. Изложена структура диссертации.

Первая глава содержит постановку задачи исследования фазовой структуры хиггс-калибровочных теорий. Вводится действие и определяются параметры порядка, которые для теории с SU_3 -симметрией имеют вид:

$$\langle R^2 \rangle \equiv \langle \Phi_n^* \Phi_n \rangle \equiv \frac{1}{Z} \int (\Phi_n^* \Phi_n) \exp(-S(\{U_1, \Phi_1\})) \prod_1 d\mu(U_1) \prod_1 d^6 \Phi_1$$

$$\langle L \rangle \equiv \frac{1}{Z} \int (\text{Re } \phi_m^* U_{mn} \phi_n) \exp(-S(u_1, \phi_1)) \prod_1^d \mu(u_1) \prod_1^d \phi_1^6$$

$$\langle 1 - \rho \rangle \equiv \frac{1}{Z} \int (1 - \frac{1}{3} \text{ReTr} U_{\square}) \exp(-S(u_1, \phi_1)) \prod_1^d \mu(u_1) \prod_1^d \phi_1^6$$

Получены выражения для эффективного потенциала в древесном приближении для SU_3 теории

$$V_{\text{eff}}(R) = (1 - \frac{m}{8})R^2 + \frac{\lambda}{4}R^2 - \ln(4I_2(R^2)) + \ln(R^4) - \frac{5}{8}\ln R^2$$

и для модели Джорджи-Глэшоу

$$V_{\text{eff}}(R) = (8 + m^2)R^2 + 4\lambda R^4 - 4\ln\left(\frac{\text{sh}(2R^2)}{2R^2}\right) - \ln R^2$$

соответственно.

Определены метод "термальных циклов" и метод "разных стартов" для численного поиска линий фазовых переходов. Исследована фазовая структура SU_2 и SU_3 хиггс-калибровочных теорий с хиггсовским полем в фундаментальном и присоединенном представлениях. По результатам численного моделирования на ЭВМ построены фазовые диаграммы при различных значениях констант связи. Особое внимание уделено поиску точек фазовых переходов второго рода.

Вторая глава посвящена численным исследованиям на ЭВМ температурного фазового перехода "конфайнмент - хромоплазма" в чисто-калибровочной SU_2 -теории. Предложен метод определения критической температуры для решеток конечных размеров, основанный на анализе функций распределения параметра порядка L . На решетках конечных размеров метод дает более точные результаты чем методы основанные на анализе среднего от L , позволяет качественно контролировать степень влияния конечного объема на значения параметра порядка и может применяться в области как выше, так и ниже критической температуры. Метод применен для вычисления критической температуры и восприимчивости.

Приведены определения термодинамических функций для SU_2 -глюодинамики на решетке. Численно исследуются хромоэлектрический и хромомагнитный вклады в плотность внутренней энергии и

давление. Показано, что вклады хромомагнитных E_m и хромоэлектрических E_e компонент велики, и их поведение в зависимости от температуры радикально различается.

Впервые дан вывод решеточного определения теплоемкости. Численно исследовано поведение теплоемкости в окрестности фазового перехода. Показано, что результаты вычисления теплоемкости в окрестности температурного фазового перехода находятся в полном соответствии с поведением компонент плотности энергии.

В третьей главе даны определения магнитного потока, магнитного заряда и Z_2 монополей в модели Джорджи-Глэшоу на решетке. Методами численного моделирования исследован характер вакуумных флуктуаций в различных фазах хиггс-калибровочной модели Джорджи-Глэшоу. На основании анализа конфигураций поля дана интерпретация механизма возникновения фазовых переходов, сделан вывод о решеточной природе некоторых обнаруженных фаз.

Приведено определение топологического заряда и топологической восприимчивости. Обсужден вопрос влияния решеточных дислокаций на результат непосредственного вычисления топологической восприимчивости. Методами численного моделирования исследуется влияние выбора решеточного действия и дислокаций на топологическую восприимчивость в SU_2 -глюодинамике.

В Приложении 1 собраны формулы, устанавливающие связь между различными представлениями решеточного действия, а так же связь параметров решеточного действия и континуальной теории на классическом уровне.

Приложение 2 посвящено некоторым вопросам метода Монте-Карло. Обсуждается вопрос оценки статистических ошибок.

В заключении сформулированы основные результаты работы:

1. Методом численного эксперимента исследованы фазовые структуры $SU(3)$ хиггс-калибровочной теории и модели Джорджи-Глэшоу на решетке. Впервые в трехмерной области параметров построены фазовые диаграммы этих теорий. В области

сильной связи найдены точки фазовых переходов второго рода.

2. Предложен метод численного определения критической температуры и критических индексов фазового перехода "конфайнмент-деконфайнмент" в глюодинамике. Метод основан на анализе функций распределения петли Полякова и позволяет повысить точность вычислений на конечной решетке. В чисто калибровочной SU(2)-симметричной теории вычислены критическая константа связи, критический индекс петли Полякова и восприимчивость на решетке размером 4×8^3 .

3. В SU(2) глюодинамике методом численного моделирования установлено качественно различное температурное поведение хромагнитных и хромоэлектрических компонент термодинамических функций. Хромагнитная часть внутренней энергии и давления в области температур $\vartheta_c \leq \vartheta \leq 2\vartheta_c$ становится отрицательной и сравнимой по абсолютной величине с хромоэлектрической. Обнаруженный эффект означает, что в этой области температур доминируют продольные возбуждения глюонного поля.

4. Вычислена теплоемкость C_V для SU(2) глюодинамики в окрестности фазового перехода "конфайнмент - деконфайнмент". Показано, что поведение хромоэлектрических и хромагнитных компонент теплоемкости согласуется с поведением компонент внутренней энергии.

5. Для решеточной модели Джорджи-Глэшоу моделированием на ЭВМ показано, что динамика магнитных флуктуаций в разных фазах теории существенно различна. Обнаружено, что вакуум "хиггсовской" фазы соответствует картине с большим числом замкнутых вихрей магнитного потока (вакуум "спагетти"), а симметричной - "конденсации" магнитного поля.

6. В SU(2) решеточной калибровочной теории численно показано, что замена вильсоновского действия на смешанное, в котором параметры выбраны на стабильной траектории ренормгруппы Мигдала-Каданова, приводит к подавлению дислокаций. Топологическая восприимчивость $a^4 \chi_t$ при этом не уменьшается.

Работы положенные в основу диссертации:

1. V.P.Gerdt, V.K.Mitrjushkin, A.M.Zadorozhny. The Phase

Structure of the SU(3) Lattice Gauge-Higgs Model.

Phys.Lett., B172, (1986), pp.65-70.

В.П.Гердт, А.М.Задорожный, В.К.Митрюшкин, материалы семинара "Кварки - 86". Тбилиси, 15-17 апреля 1986 г., М.1987, с.300.

2. В.П.Гердт, А.М.Задорожный, В.К.Митрюшкин, в сб. Вопросы кибернетики. Использование ЭВМ в квантовой теории поля. М. АН СССР, 1987 г.

3. V.K.Mitrjushkin, A.M.Zadorozhny. Phase Structure of the SO(3) Georgi-Glashow Model.

Phys.Lett. B181, (1986) pp.111-114.

4. V.K.Mitrjushkin, A.M.Zadorozhny. The Temperature Phase Transitions in SU(2) Lattice Gauge Theory.

Phys.Lett. B185, (1987), p.377.

5. V.K.Mitrjushkin, M.Muller-Preussker, A.M.Zadorozhny. Magnetic Fluctuations in the Quantised Vacuum of the Georgi-Glashow Model on the Lattice.

Phys.Lett. B199, (1987), pp.82-88.

А.М.Задорожный, В.К.Митрюшкин, М.Мюллер - Пройскер, труды X семинара по проблемам физики высоких энергий и теории поля. Протвино, июль 1987 г.

6. V.K.Mitrjushkin, A.M.Zadorozhny, G.M.Zinovjev.

On Thermodynamics Properties of the Chromoplasma.

Phys.Lett. (1988) B215, pp.371-374.

7. V.G.Borniyakov, E.-M.Ilgenfritz, V.K.Mitrjushkin, A.M.Zadorozhny, M.Muller-Preussker. Investigation of the Vacuum Structure Of the Georgi-Glashow Model on the Lattice.

Z.Phys.C P&F 42, (1989) pp.633-640.

8. V.G.Borniyakov, B.Jozefini, M.Muller-Preussker, A.M.Zadorozhny. Topological Susceptibility, Dislocations and Universality in SU(2) Lattice Gauge Theory with Mixed Action".

Preprint JINR, E2-89-606 (1989).

9. V.K.Mitrjushkin, A.M.Zadorozhny. Specific Heat in the Pure Gauge US(2) Theory.

Phys.Lett. (1989) B232, pp.357-361.

Рукопись поступила в издательский отдел

20 апреля 1992 года.