На правах рукописи

Логинов

Логинов Алексей Юрьевич

Нетопологические солитоны некоторых полевых моделей

01.04.02 – теоретическая физика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Томск – 2012

Работа выполнена в *ФГБОУ ВПО "Национальный исследовательский Томский политехнический университет", в Физико-техническом институте*

Научный руководитель:	*доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Стибунов Виктор Николаевич*
Официальные оппоненты:	*Кунашенко Юрий Петрович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВПО "Томский государственный педагогический университет", профессор кафедры теоретической физики* *Шаповалов Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВПО "Национальный исследовательский Томский государственный университет", заведующий кафедрой теоретической физики*
Ведущая организация:	*Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН*

Защита состоится « 17 » мая 2012 г. в 14 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета *Д212.267.07 ФГБОУ ВПО "Национальный исследовательский Томский государственный университет", 634050, г.Томск, пр. Ленина, 36.*

С диссертацией можно ознакомиться в *Научной библиотеке Томского государственного университета.*

Автореферат разослан «____» апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета *Ивонин Иван Варфоломеевич*

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Изучение свойств солитонов различных полевых моделей привлекает к себе постоянный интерес исследователей в течение последних сорока лет. Этот интерес обусловлен той существенной ролью, которую солитоны играют в теории поля, физике конденсированного состояния и астрофизике. Солитонные решения можно разделить на два больших класса – топологические солитоны и нетопологические солитоны, свойства которых существенно различны. Приведем краткий перечень наиболее известных солитонных решений, играющих важную роль в различных областях физики.

Исторически первым примером солитона, исследованного в рамках теории поля, является скирмион. Этот топологический солитон был предложен в качестве модели нуклона. Скирмионная модель хорошо описывает статические свойства нуклона. Кроме того, в рамках скирмионной модели возможно описание таких важнейших процессов, как распад нуклона в поле магнитного монополя и инстантонный электрослабый распад нуклона.

Современные магнитные монополи, открытые независимо т' Хоофтом и Поляковым, имеют в качестве своего исторического предшественника магнитный монополь Дирака. Существование магнитных монополей возможно во многих вариантах Теории Великого Объединения. Обнаружение магнитного монополя приведет к естественному объяснению квантования электрического заряда.

Вихревые решения теории Гинзбурга-Ландау были открыты Абрикосовым при исследованиях сверхпроводимости. Позднее Нильсен и Олесен обнаружили вихревые решения в абелевой модели Хиггса. Затем вихри были обнаружены и в других калибровочных моделях. Вихри являются одним из редких примеров солитонных решений, существование которых подтверждено экспериментально. Они играют большую роль в теории сверхпроводимости и сверхтекучести.

В отличие от других солитонов, являющихся решениями полевых уравнений в пространстве Минковского, инстантоны являются решениями полевых уравнений в евклидовом пространстве. Такие решения описывают эволюцию полевой конфигурации в мнимом времени, что соответствует в квантовой теории поля процессу туннелирования между соседними топологически различными вакуумами. Инстантоны нельзя поэтому интерпретировать как частицы, их невозможно обнаружить экспериментально. Они могут проявить себя лишь косвенно в качестве стационарных точек евклидова действия, давая вклад в матричные элементы различных процессов данной полевой модели. Инстантоны играют важную роль в описании процессов квантовой хромодинамики, в частности с их помощью было найдено решение $U(1)_A$ проблемы. Инстантонное туннелирование снимает вырождение между топологически различнымии вакуумами квантовой хромодинамики и приводит к важнейшему понятию θ-вакуума.

Сфалероны представляют собой нестабильные решения полевых уравнений типа седловой точки, имеющие одно отрицательное собственное значение в спектре оператора квадратичных флуктуаций. С топологической точки зрения сфалерон является полевой конфигурацией, лежащей между соседними топологически различными вакуумами полевой модели. Энергия сфалерона является высотой энергетического барьера между этими вакуумами. Сфалероны существуют в Стандартной модели и играют важную роль в процессах электрослабого несохранения барионных и лептонных квантовых чисел при высоких температурах.

Все перечисленные выше примеры представляют собой топологические солитоны. Существование топологических солитонов обусловлено тем, что гомотопическая группа отображения пространственного многообразия модели на ее полевое многообразие является нетривиальной.

Другим обширным классом солитонных решений являются нетопологические солитоны. Существование нетопологических солитонов возможно благодаря сохранению нетеровских зарядов, соответствующих какой-либо из внутренних симметрий лагранжиана, и определенной форме потенциала взаимодействия полей. В отличие от топологических солитонов, нетопологические солитоны имеют нетривиальную временную зависимость полевых компонент. Нетопологические солитоны играют важную роль в физике адронов, астрофизике и физике конденсированного состояния.

Приведенный список солитонных решений является далеко не полным. Известны десятки солитонных решений различных полевых моделей и их число продолжает быстро расти. Ведутся поиски новых и исследуются свойства известных солитонных решений. Все это определяет актуальность выбранной темы диссертации, связанной с поиском новых солитонных решений полевых моделей и исследованием их свойств.

Цель диссертационной работы

Целью диссертационной работы является решение следующих задач:

- поиск новых солитонных решений полевых моделей;
- исследование свойств найденных солитонных решений.

Научная новизна и практическая ценность работы

В работе впервые получены следующие результаты:

- Показано, что в модели, состоящей из двух комплексных $U(1) \times U(1)$-заряженных скалярных полей и одного вещественного $U(1) \times U(1)$-нейтрального скалярного поля, обладающей перенормируемым потенциалом взаимодействия, существует нетопологический солитон. Установлено, что в случае thin-wall режима данный нетопологический солитон является устойчивым по отношению к переходу в плосковолновую полевую конфигурацию. Для случая thick-wall режима получены формулы зависимостей энергии и нетеровских зарядов нетопологического солитона от фазовых частот комплексных скалярных полей.
- Показано, что в R-симметричной модели Весса-Зумино существует нетопологическая солитонная конфигурация – R-солитон. Установлены характерные свойства R-солитона. Исследованы предельные режимы R-солитона. Показано, что R-солитон является устойчивым по отношению к переходу в плосковолновую полевую конфигурацию во всем диапазоне параметров модели. Получены выражения фермионных нулевых мод R-солитона и установлены некоторые их свойства.
- Показано, что нелинейная $O(3)$ σ-модель с явно нарушенной симметрией (модель Моттолы-Випфа) допускает нестатическое обобщение кинка/мультикинка синус-Гордона – Q-кинк/мультикинк. Для всех возможных случаев в аналитическом виде найдены решения полевых уравнений, соответствующие Q-кинкам/мультикинкам. Получены формулы зависимостей энергии и нетеровского заряда Q-кинка от фазовой частоты. Для ряда случаев получены выражения энергии и нетеровского заряда Q-мультикинка. Выполнено исследование устойчивости Q-кинка, получены выражения собственных функций и собственных значений оператора квадратичных флуктуаций. Установлено, что Q-кинк является неустойчивым во всем допустимом интервале фазовых частот $\omega \in [-1, 1]$ и представляет собой нестатическое обобщение сфалерона модели Моттолы-Випфа.
- Показано, что в Стандартной модели электрослабых взаимодействий существует электрически заряженный нетопологический солитон. Установлены некоторые свойства электрически заряженного нетопологического солитона. Методом триальных функций получены предельные значения радиуса, энергии и фазовой частоты солитона в thin-wall ре-

жиме. Впервые получены численные решения полевых уравнений Стандартной модели, соответствующие электрически заряженным нетопологическим солитонам. Численно установлено существование области параметров модели, в которой нетопологический солитон является устойчивым по отношению к переходу в плосковолновую полевую конфигурацию.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитированной литературы, содержащего 116 библиографических ссылок. Объем диссертации составляет 116 страниц, включая 20 рисунков.

Содержание работы

Введение содержит краткий исторический обзор, посвященный солитонным решениям и их роли в различных областях физики. Кратко описаны основные типы солитонных решений, приведены примеры представителей каждого типа. Перечислены общие и различные свойства топологических и нетопологических солитонов. Обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цели диссертационной работы.

В **Главе 1** исследованы свойства нетопологического солитона модели трех взаимодействующих скалярных полей с глобальной $U(1)\times U(1)$-симметрией. Глава состоит из семи разделов.

В **разделе 1.1** дано краткое описание различных типов нетопологических солитонов, исследованных в теории поля. Особенностью рассмотренной в данной главе нетопологической солитонной конфигурации является то, что два ее скалярных поля являются заряженными по отношению к группе глобальной симметрии $U(1) \times U(1)$, а третье скалярное поле является нейтральным по отношению к этой группе.

В **разделе 1.2** дается описание модели трех взаимодействующих скалярных полей, приводятся ее лагранжиан, функционалы энергии и нетеровских зарядов. С помощью метода множителей Лагранжа и полевых уравнений Гамильтона определяется временная зависимость полей нетопологического солитона. Для нетопологического солитона данной полевой модели формулируется теорема вириала:

$$T = 3V, \tag{1}$$

где:

$$T = \frac{1}{2}\int \left(|\nabla\sigma_1|^2 + |\nabla\sigma_2|^2 + |\nabla\xi|^2\right) d^3x, \tag{2}$$

$$V = \int \left(\frac{{\Omega_1}^2 - {m_1}^2}{2}\sigma_1^2 + \frac{{\Omega_2}^2 - {m_2}^2}{2}\sigma_2^2 - \frac{\mu^2}{2}\xi^2 - U(\sigma_1, \sigma_2, \xi)\right) d^3x, \tag{3}$$

Ω_i – фазовые частоты комплексных скалярных полей $\phi_i = \sigma_i \exp\left(i\Omega_i t\right)/\sqrt{2}$, $U(\sigma_1, \sigma_2, \xi)$ – потенциал взаимодействия скалярных полей. Из теоремы вириала следует, что фазовое вращение $U(1) \times U(1)$-заряженных полей ϕ_1, ϕ_2 является необходимым условием существования нетопологического солитона. Проводится редукция системы полевых уравнений Эйлера-Лагранжа к системе трех обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих нетопологический солитон. С помощью механической аналогии для этой системы, формулируются необходимые условия существования нетопологического солитона.

В **разделе 1.3** описан плосковолновой предел рассматриваемой модели. Приведены формулы, определяющие значения амплитуд заряженных полей ϕ_1, ϕ_2 и нейтрального поля ξ в плосковолновом пределе. Получена формула энергии E плосковолновой полевой конфигурации при данных значениях нетеровских зарядов Q_1, Q_2:

$$E = m_1 \left|\frac{n_{22}Q_1 - n_{12}Q_2}{n_{11}n_{22} - n_{12}n_{21}}\right| + m_2 \left|\frac{n_{11}Q_2 - n_{21}Q_1}{n_{11}n_{22} - n_{12}n_{21}}\right|, \tag{4}$$

где n_{ij} – заряд поля ϕ_j по отношению к i-му фактору группы $U(1) \times U(1)$.

В **разделе 1.4** исследован thin-wall режим нетопологического солитона. Получена формула энергии нетопологического солитона при данных значениях нетеровских зарядов Q_1, Q_2:

$$E = |\Omega_1| \left|\frac{n_{22}Q_1 - n_{12}Q_2}{n_{11}n_{22} - n_{12}n_{21}}\right| + |\Omega_2| \left|\frac{n_{11}Q_2 - n_{21}Q_1}{n_{11}n_{22} - n_{12}n_{21}}\right|. \tag{5}$$

Показано, что в thin-wall режиме нетопологический солитон является устойчивым по отношению к переходу в плосковолновую полевую конфигурацию.

В **разделе 1.5** исследован thick-wall режим нетопологического солитона. Для симметричного случая ${\epsilon_1}^2 \equiv {m_1}^2 - {\Omega_1}^2 \approx {\epsilon_2}^2 \equiv {m_2}^2 - {\Omega_2}^2 = \epsilon^2 \to 0$ получены вириальные соотношения и выражения для нетеровских зарядов и энергии нетопологического солитона:

$$Q_i = 4\pi M_2 \left(\frac{2\,\Omega_1 n_{i1}}{\epsilon} + \frac{2\,\Omega_2 n_{i2}}{\epsilon} - \epsilon \frac{n_{i1}}{\Omega_1} - \epsilon \frac{n_{i2}}{\Omega_2} \right), \tag{6}$$

$$E = \frac{{m_1}^2 + {m_2}^2}{n_{i1}\Omega_1 + n_{i2}\Omega_2} Q_i + 32\pi^2 {M_2}^2 \left({m_1}^2 + {m_2}^2\right) \left(n_{i1}{\Omega_1}^{-1} + n_{i2}{\Omega_2}^{-1}\right) {Q_i}^{-1}, \tag{7}$$

где $\Omega_i = \pm m_i$ в формулах (6), (7) и (8), M_2 — функция комбинации параметров модели. В несимметричном случае ${\epsilon_i}^2 \to 0$, ${\epsilon_j}^2 \neq 0$ получены выражения отношений Q_2/Q_1, E/Q_1, E/Q_2:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_{2i}}{n_{1i}}, \qquad \frac{E}{Q_1} = \frac{m_i^2}{n_{1i}\Omega_i}, \qquad \frac{E}{Q_2} = \frac{m_i^2}{n_{2i}\Omega_i}\,. \tag{8}$$

Для всех рассмотренных случаев энергия нетопологического солитона в thick-wall режиме стремится к энергии соответствующей плосковолновой конфигурации.

В **разделе 1.6** описана процедура численного решения системы дифференциальных уравнений. Для одного из наборов параметров модели и нескольких фиксированных значений ${\epsilon_1}^2$ приведены зависимости нетеровских зарядов и энергии нетопологического солитона от величины ${\epsilon_2}^2$.

В **разделе 1.7** приводятся формулы, определяющие фазовые частоты и амплитуды полей в предельном случае thin-wall режима.

В **Главе 2** исследованы свойства нетопологической солитонной конфигурации — R-солитона модели Весса-Зумино. Глава состоит из семи разделов.

В **разделе 2.1** кратко перечислены особенности исследуемой $\mathcal{N} = 1$ суперсимметричной модели Весса-Зумино, лагранжиан которой является R-симметричным.

В **разделе 2.2** дано краткое описание модели Весса-Зумино, состоящей из двух реальных киральных суперполей. Условия перенормируемости и R-инвариантности определяют лагранжиан модели и R-числа входящих в него полей. Далее приводятся полевые уравнения, функционал энергии E и выражение нетеровского тока R_μ, соответствующего R-симметрии лагранжиана.

В **разделе 2.3** проведена редукция системы полевых уравнений бозонного сектора модели к системе двух обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений, описывающей R-солитон. Эта система имеет механическую аналогию — частицу единичной массы, движущуюся в поле эффективного потенциала в вязкой среде, коэффициент трения которой обратно пропорционален времени. Из этой аналогии следует, что в модели Весса-Зумино существуют нетопологические солитоны.

Далее для нетопологического солитона модели Весса-Зумино формулируется теорема вириала:

$$T = 3V, \tag{9}$$

где:

$$T = \frac{1}{2}\int \left(|\nabla\varphi|^2 + |\nabla\chi_1|^2\right) d^3x, \tag{10}$$

$$V = \int \left(\frac{\omega^2 - m^2}{2}\varphi^2 - \sqrt{2}mg\varphi^2\chi_1 - g^2\varphi^2\chi_1^2 - \frac{g^2\varphi^4}{4}\right) d^3x, \tag{11}$$

g – константа связи, m – массовый параметр модели Весса-Зумино. Из теоремы вириала следует, что фазовое вращение R-заряженного поля $\phi = \varphi \times \exp(i\omega t)/\sqrt{2}$ является необходимым условием существования нетопологического солитона.

Система дифференциальных уравнений, описывающая нетопологический солитон, не имеет аналитических решений. Однако в отдельных случаях приближенное аналитическое описание свойств решения возможно. Для thin-wall режима получены формулы отношения градиентной энергии солитона к его полной энергии и отношения полной энергии солитона к его нетеровскому R-заряду:

$$T/E = 1/2, \quad E/Q_R = 3\omega/2. \tag{12}$$

Для режима фиксированного вакуумного значения поля χ_1 получена формула зависимости энергии солитона от его нетеровского заряда при $\omega \to 0$:

$$E(Q_R) \approx E_0 (Q_R/Q_{R0})^{2/3}, \tag{13}$$

и при $\omega \to \omega_{\mathsf{max}} = \left|m + \sqrt{2}g\chi_{1\mathsf{vac}}\right|$:

$$E(Q_R) \approx \omega_{\mathsf{max}}Q_R - \frac{2g^4\omega_{\mathsf{max}}}{27\widetilde{F}^2}Q_R^3, \tag{14}$$

где $\widetilde{F}$ – численная константа, равная 6.49136.

В **разделе 2.4** исследованы вопросы стабильности R-солитона. Используя выражение производной энергии R-солитона по нетеровскому заряду

$dE/dQ_R = \omega$ и формулу энергии плосковолновой конфигурации с данным значением нетеровского заряда Q_R

$$E_{\mathsf{pw}}\left(Q_R\right) = \left| m + \sqrt{2} g \chi_{1\mathsf{vac}} \right| Q_R = \omega_{\mathsf{max}} Q_R, \tag{15}$$

можно показать, что R-солитон является устойчивым относительно перехода в плосковолновую конфигурацию во всем диапазоне параметров модели g, m. В конце раздела рассмотрен вопрос об устойчивости R-солитона по отношению к делению на два R-солитона.

В **разделе 2.5** описана процедура численного решения системы дифференциальных уравнений. Приведены зависимости энергии и нетеровского заряда R-солитона от величины скалярного поля χ_1 при $r = 0$ для нескольких значений фазовой частоты ω. Представлены зависимости отношений T/E и E/Q_R от величины χ_1 при $r = 0$ для нескольких значений ω. Представлена зависимость энергии R-солитона от величины его нетеровского заряда при фиксированном вакуумном значении поля χ_1.

В **разделе 2.6** исследованы свойства фермионных нулевых мод R-солитона. Инвариантность действия модели Весса-Зумино относительно преобразований $\mathcal{N} = 1$ суперсимметрии позволяет получить явные выражения четырех майорановских фермионных нулевых мод в терминах решений бозонного сектора модели. Полученные фермионные нулевые моды удовлетворяют условиям ортогональности и нормировки. Фермионные нулевые моды удовлетворяют уравнениям Дирака при условии, что скалярные поля являются решениями полевых уравнений бозонного сектора модели Весса-Зумино.

В **разделе 2.7** приведены явные выражения четырех майорановских фермионных нулевых мод в терминах решений бозонного сектора модели.

В **Главе 3** исследованы свойства сфалеронной конфигурации с ненулевым нетеровским зарядом – Q-кинка модели Моттолы-Випфа. Глава состоит из семи разделов.

В **разделе 3.1** дан краткий перечень исследованных солитонных решений массивных нелинейных σ-моделей в $1 + 1$ и $2 + 1$ измерениях. Особенностью $1 + 1$-мерной нелинейной $O(3)$ σ-модели является наличие в ней солитонных решений при включении в лагранжиан линейного по полям слагаемого, явно нарушающего исходную $O(3)$-симметрию модели до ее абелевой $O(2)$-подгруппы.

В **разделе 3.2** дано краткое описание модели Моттолы-Випфа. Приведены выражения лагранжиана, энергии, нетеровского заряда и полевые уравнения модели.

В **разделе 3.3** показано, что в модели Моттолы-Випфа возможно существование неустойчивых решений типа седловых точек с одним отрицательным собственным значением в спектре оператора квадратичных флуктуаций. Такие решения носят название сфалеронов. Причина этого заключается в том, что полевое пространство модели Моттолы-Випфа не является односвязным – в нем существуют нестягиваемые петли, которые начинаются и заканчиваются в точке вакуума. В статическом случае сфалерон представляет собой вложенный кинк модели синус-Гордона. Показано, что модель Моттолы-Випфа допускает нестатическое обобщение кинка модели синус-Гордона – Q-кинк. Решение полевых уравнений, соответствующее Q-кинку, имеет вид:

$$\theta\left(x,t\right)=\pi+2\operatorname{arctg}\left(\frac{\operatorname{sh}\left(\left(x-x_0\right)\sqrt{1-\omega^2}\right)}{\sqrt{1-\omega^2}}\right),\ \varphi\left(x,t\right)=\omega t+\varphi_0. \tag{16}$$

Получены формулы зависимостей энергии и нетеровского заряда Q-кинка от фазовой частоты:

$$\widetilde{E}=8\,\omega^{-1}\arcsin\left(\omega\right),\ \widetilde{Q}=4\,\omega^{-2}\left(\arcsin\left(\omega\right)-\omega\sqrt{1-\omega^2}\right). \tag{17}$$

В заключение раздела получены вириальные соотношения модели Моттолы-Випфа:

$$\widetilde{T}-\widetilde{U}=-\frac{\omega}{2}\widetilde{Q}, \tag{18}$$

где:

$$\widetilde{T}=\frac{1}{2}\int\left(\partial_x\theta\right)^2dx,\quad \widetilde{U}=\int\left(1-\cos(\theta)\right)dx. \tag{19}$$

В **разделе 3.4** исследованы вопросы стабильности Q-кинка. Установлено, что Q-кинк является нестабильным, поскольку оператор квадратичных флуктуаций имеет одно отрицательное собственное значение $\kappa_0\left(\omega\right)$ для всех $\omega\in[-1,1]$:

$$\kappa_0\left(\omega\right)=-3+0.344158\,\omega^2-0.015648\,\omega^4. \tag{20}$$

В **разделе 3.5** вычислена однопетлевая квантовая поправка к массе статического кинка. С учетом этой поправки масса статического кинка имеет вид:

$$M=M_{\mathrm{cl}}+\delta M=\frac{8f}{g^2}+f\left(\frac{\sqrt{3}\ln\left(2+\sqrt{3}\right)-4}{\pi}+i\frac{\sqrt{3}}{2}\right). \tag{21}$$

В заключение раздела выполнено квантование нулевой моды Q-кинка.

В **разделе 3.6** показано, что в случае, когда пространственным многообразием является окружность S^1, в модели существуют вложенные мультикинки синус-Гордона и их нестатические обобщения – Q-мультикинки. Для всех возможных случаев в аналитическом виде получены решения полевых уравнений, соответствующие Q-мультикинкам. Для ряда случаев получены аналитические выражения энергии и нетеровского заряда Q-мультикинка.

В **разделе 3.7** показано, что для общего статического случая система полевых уравнений модели Моттолы-Випфа интегрируется в квадратурах.

Глава 4 посвящена исследованию свойств электрически заряженного нетопологического солитона Стандартной модели электрослабых взаимодействий. Глава состоит из шести разделов.

В **разделе 4.1** дается краткое описание исследованных нетопологических солитонов. Некоторые из них обладают калибровочными полями. Эти калибровочные поля могут быть как абелевыми так и неабелевыми. Особенностью нетопологического солитона, рассмотренного в данной главе, является то, что он обладает абелевым и неабелевым калибровочными полями, причем абелево калибровочное поле является дальнодействующим.

В **разделе 4.2** приведено выражение лагранжиана модели в унитарной калибровке. В этой калибровке лагранжиан остается инвариантным относительно локальных калибровочных преобразований электромагнитной группы $U(1)_{\mathrm{em}}$. Классический вакуум модели инвариантен относительно глобальных преобразований электромагнитной группы $U(1)_{\mathrm{em}}$. Эта инвариантность является необходимым условием существования электрически заряженных нетопологических солитонов. Далее приведены полевые уравнения и выражение нетеровского тока модели.

В **разделе 4.3** с помощью метода множителей Лагранжа и полевых уравнений Гамильтона определена временная зависимость полей нетопологического солитона. Приведен анзац, используемый при решении полевых уравнений. Получена система нелинейных дифференциальных уравнений для функций анзаца и выражения плотностей энергии и нетеровского заряда в терминах этих функций. Рассмотрены вопросы инвариантности этой системы относительно $U(1)_{\mathrm{em}}$ калибровочных преобразований и зарядового сопряжения. Исследовано поведение полей нетопологического солитона при $r \to 0$ и $r \to \infty$ и установлены некоторые его свойства. Рассмотрена зависимость энергии и нетеровского заряда нетопологического солитона от фазовой частоты Ω.

В **разделе 4.4** методом триальных функций получены предельные значения эффективного радиуса, энергии и фазовой частоты солитона в thin-wall режиме. Показано, что наличие электрического поля приводит к увеличению эффективного радиуса, энергии и фазовой частоты солитона.

В **разделе 4.5** описана процедура численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений. Для нескольких значений параметров модели получены численные решения функций анзаца. Представлены кривые зависимостей энергии E, нетеровского заряда Q_N и отношения E/Q_N от фазовой частоты Ω. Из полученных результатов следует существование области параметров модели, в которой нетопологический солитон является устойчивым по отношению к переходу в плосковолновую полевую конфигурацию.

В **разделе 4.6** обсуждается возможность существования нетопологических солитонов при современных значениях параметров Стандартной модели.

В **Заключении** кратко сформулированы основные результаты диссертационной работы, выносимые на защиту.

На защиту выносятся следующие основные результаты и положения:

- Показано, что в модели, состоящей из двух комплексных скалярных полей и одного вещественного скалярного поля, обладающей перенормируемым и $U(1) \times U(1)$-инвариантным потенциалом взаимодействия, существует нетопологический солитон. Получена система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающая нетопологический солитон. Показано, что в случае thin-wall режима нетопологический солитон является устойчивым по отношению к переходу в плосковолновую полевую конфигурацию. Для случая thick-wall режима получены формулы зависимостей энергии и нетеровских зарядов нетопологического солитона от фазовых частот. Для общего случая численными методами получены кривые зависимостей энергии и нетеровских зарядов нетопологического солитона от фазовых частот.

- Показано, что в R-симметричной модели Весса-Зумино существует нетопологическая солитонная конфигурация – R-солитон. Получена система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающая R-солитон. Установлены характерные свойства R-солитона. Показано, что R-солитон является устойчивым по отношению к переходу в плосковолновую полевую конфигурацию во всем диапазоне параметров модели. Для нескольких значений параметров модели выполнены численные расчеты энергии и нетеровского заряда R-солитона. Получены выражения фермионных нулевых мод R-солитона и установлены некоторые их свойства.

- Показано, что модель Моттолы-Випфа допускает нестатическое обобщение кинка/мультикинка синус-Гордона – Q-кинк/мультикинк. Для всех возможных случаев в аналитическом виде получены решения полевых уравнений, соответствующие Q-кинкам/мультикинкам. Получены формулы зависимостей энергии и нетеровского заряда Q-кинка от фазовой частоты. Для ряда случаев получены выражения энергии и нетеровского заряда Q-мультикинка. Проведено исследование устойчивости Q-кинка, получены выражения собственных функций и собственных значений оператора квадратичных флуктуаций. Установлено, что Q-кинк является неустойчивым во всем допустимом интервале фазовых частот $\omega \in [-1, 1]$. Вычислена однопетлевая квантовая поправка к массе статического кинка и выполнено квантование нулевой моды Q-кинка. Показано, что в общем статическом случае полевые уравнения модели Моттолы-Випфа интегрируются в квадратурах.

- Показано, что в Стандартной модели электрослабых взаимодействий существует электрически заряженный нетопологический солитон. Получена система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающая нетопологический солитон. Установлены некоторые свойства электрически заряженного нетопологического солитона. Методом триальных функций получены выражения предельных значений радиуса, энергии и фазовой частоты солитона в thin-wall режиме. Найдены численные решения полевых уравнений модели, соответствующие электрически заряженным солитонам. Для нескольких значений параметров модели представлены зависимости энергии и нетеровского заряда солитона от фазовой частоты. Численно установлено существование области параметров модели, в которой нетопологический солитон является устойчивым относительно перехода в плосковолновую полевую конфигурацию.

Апробация работы

Результаты диссертационной работы обсуждались на семинарах лаб. 10, 11 ФТИ ТПУ и были представлены на международных конференциях:
Nucleus 2008: Fundamental problems of nuclear physics, Moscow, 2008;
Nucleus 2009: Fundamental problems of nuclear physics, Cheboksary, 2009;
Nucleus 2010: Fundamental problems of nuclear physics, St. Petersburg, 2010.

Публикации

Материалы диссертации опубликованы в 8 печатных работах, из них 5 статей в рецензируемых журналах [A1, A2, A3, A4, A5] и 3 тезиса докладов [A6, A7, A8].

Список публикаций

[A1] *А. Ю. Логинов.* Нетопологическая солитонная конфигурация системы трех взаимодействующих скалярных полей с глобальной абелевой $U(1) \times U(1)$ симметрией // *Ядерная физика.* — 2007. — Т. 70, № 4. — С. 1–15.

[A2] *А. Ю. Логинов, А. А. Сидоров, В. Н. Стибунов.* Нетопологическая солитонная конфигурация системы двух взаимодействующих скалярных полей с глобальной абелевой симметрией // *Известия РАН. Серия физическая.* — 2009. — Т. 73, № 11. — С. 1532–1536.

[A3] *А. Ю. Логинов.* R-солитон в модели Весса-Зумино // *Ядерная физика.* — 2010. — Т. 73, № 3. — С. 474–487.

[A4] *А. Ю. Логинов.* Q-кинк нелинейной $O(3)$ σ-модели с явно нарушенной симметрией // *Ядерная физика.* — 2011. — Т. 74, № 5. — С. 766–780.

[A5] *А. Ю. Логинов.* Заряженный нетопологический солитон $SU(2) \times U(1)$ калибровочной модели // *ЖЭТФ.* — 2012. — Т. 141, № 1. — С. 56–70.

[A6] *A. Yu. Loginov* // Nucleus 2008: Fundamental problems of nuclear physics, Moscow, 2008 / Ed. by A. K. Vlasnikov. — Moscow: Moscow State University, 2008. — P. 207.

[A7] *A. Yu. Loginov* // Nucleus 2009: Fundamental problems of nuclear physics, Cheboksary, 2009 / Ed. by A. K. Vlasnikov. — Cheboksary: St. Petersburg State University, 2009. — P. 203.

[A8] *A. Yu. Loginov* // Nucleus 2010: Fundamental problems of nuclear physics, St. Petersburg, 2010 / Ed. by A. K. Vlasnikov. — St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2010. — P. 215.