



Предисловие ко второму изданию

Предисловие к первому изданию

## I Солитоны, инстантоны и сфалероны. Теории с фермионами

### 1 Фермионы во внешних полях

- 1.1. Свободное уравнение Дирака
- 1.2. Решения свободного уравнения Дирака. Море Дирака
- 1.3. Фермионы во внешних бозонных полях
- 1.4. Фермионный сектор Стандартной модели

### 2 Фермионы и топологические внешние поля в двумерных моделях

- 2.1. Дробление заряда
- 2.2. Пересечение уровней и несохранение фермионных квантовых чисел

### 3 Фермионы в полях солитонов и струн в четырехмерном пространстве-времени

Фермионы в поле монополя: целый угловой момент

- 3.1. и дробление фермионного числа
- 3.2. Рассеяние фермионов на монополе: несохранение фермионных чисел
- 3.3. Нулевые моды в поле вихря: сверхпроводящие струны

### 4 Несохранение фермионных чисел в четырехмерных неабелевых теориях

- 4.1. Пересечение уровней и евклидовы нулевые фермионные моды
- 4.2. Нулевая фермионная мода в поле инстантона
- 4.3. Правила отбора  
Электрослабое несохранение барионного и лептонных чисел при высоких
- 4.4. температурах  
Классический аналог аномального несохранения барионного числа:
- 4.5. инстантонный распад скирмиона

### 5 Мир на бране

- 5.1. Модель с доменной стенкой
- 5.2. Локализованные фермионы
- 5.3. Скалярные поля на бране
- 5.4. Особенности локализации калибровочных полей

## Дополнительные задачи к части I

## II Некоммутативные теории поля и некоммутативные солитоны

### 6 Скалярные поля и солитоны на некоммутативной плоскости

- 6.1. Скалярное поле на некоммутативной плоскости
- 6.2. Солитоны в скалярных теориях

### 7 Некоммутативные калибровочные теории

- 7.1. Общая конструкция
- 7.2. Калибровочная теория на некоммутативном  $R^{2n}$  как матричная модель

### 8 Солитоны в некоммутативных калибровочных теориях

- 8.1. Солитоны в  $U(1)$ -теории. Локализация калибровочных полей на солитоне
- 8.2. Обобщение многовортонного решения. Кулоновская фаза
- 8.3. Метод генерации решений

- 8.4. Вихрь. Хиггсовская фаза калибровочной теории на солитоне
- 8.5. Квазилокализация скалярного поля на вихре
- 8.6. Некоммутативный инстантон  
Инстантоны нулевого и малого размера. Локализация и квазилокализация
- 8.7. калибровочных полей  
Соответствие  $D$ -бранам теории струн Классические решения
- 8.8. и функциональный интеграл
- Д.1. Распад ложного вакуума в формализме функционального интеграла
- Д.2. Инстантонные вклады в функции Грина фермионов
- Д.3. Инстантоны в теориях с механизмом Хиггса. Интегрирование вдоль долин
- Д.4. Растущие инстантонные сечения

#### Литературные указания

#### Предметный указатель

### Предисловие ко второму изданию



Эта книга, вместе с публикуемой параллельно книгой "Классические калибровочные поля. Бозонные теории", является переработанной и расширенной версией книги "Классические калибровочные поля" (М.: УРСС, 1999).

По замыслу автора, книга должна быть доступна студентам старших курсов, специализирующимся в области теоретической физики. Соответственно, чтение этой книги не требует глубокого знания квантовой теории поля. В то же время, с самого начала предполагается, что читателю известны классическая и квантовая механика, специальная теория относительности и классическая электродинамика, а также результаты, относящиеся к классической теории бозонных (скалярных и калибровочных) полей. В частности, предполагается, что читатель знаком с такими объектами бозонных теорий, как доменные стенки, вихри, монополи, евклидовы пузыри и инстантоны. Эти объекты подробно рассматриваются в книге "Классические калибровочные поля. Бозонные теории", в дальнейшем именуемой "книга I". Там, где это совершенно необходимо, на книгу I имеются ссылки, но в основном материал можно изучать без обращения к книге I.

В первой части данной книги рассматриваются разнообразные эффекты, которые обусловлены взаимодействием фермионов с топологическими объектами, возникающими в теориях скалярных и калибровочных полей -- солитонами, инстантонами и сфалеронами. Во второй части изложен менее традиционный материал о классических теориях поля на некоммутативных пространствах и о солитонах в таких теориях. Эта часть основана на курсах лекций, прочитанных в Институте ядерных исследований РАН (Москва), Институте теоретической и экспериментальной физики (Москва) и Университете г.Лозанны.

Подготовка этой книги во многом опиралась на всестороннюю помощь и многочисленные советы Ф.Л.Безрукова, Д.С.Горбунова, Д.Ю.Григорьева, С.В.Демидова, С.Л.Дубовского, Д.Г.Левкова, М.В.Либанова, Э.Я.Нугаева, Г.И.Рубцова, Д.В.Семикоза, С.М.Сибирякова, П.Г.Тинякова, С.В.Троицкого и Д.Т.Шона; всем им я искренне благодарен. Хотелось бы поблагодарить А.Ю.Морозова и М.Е.Шапошникова за приглашения прочитать курсы лекций в ИТЭФ и Университете г.Лозанны, соответственно.

### Предисловие к первому изданию



В основу этой книги положен курс лекций, читавшийся в течение ряда лет на кафедре квантовой статистики и теории поля физического факультета Московского государственного университета студентам 3Нго и 4Нго курсов, специализирующимся в области теоретической физики.

Традиционно теория калибровочных полей включается в курсы *квантовой* теории поля. Однако многие понятия и результаты калибровочных теорий появляются уже на уровне классической теории поля, что делает возможным и полезным их изучение параллельно с изучением квантовой механики. Соответственно, чтение первых десяти глав этой книги не требует знания квантовой механики, в главах 11--13 используются представления и методы, излагаемые обычно в начале курса квантовой механики, и лишь для чтения последующих глав необходимо знание квантовой механики в полном объеме, включая уравнение Дирака. Сколько-нибудь подробное знакомство с квантовой теорией поля для чтения основного текста не обязательно. В то же время, с самого начала предполагается, что читателю известны классическая механика, специальная теория относительности и классическая электродинамика.

Первая часть этой книги содержит изложение основных идей теории калибровочных полей, построение калибровочно инвариантных лагранжианов и описание спектров линейных возмущений, в том числе над нетривиальным основным состоянием. Вторая часть посвящена построению и интерпретации решений, существование которых целиком обусловлено нелинейностью уравнений поля, -- солитонов, "евклидовых пузырей" и инстантонов. В третьей части рассматриваются некоторые интересные эффекты, возникающие при взаимодействии фермионов с топологическими скалярными и калибровочными полями.

Книга содержит Дополнение, где кратко обсуждается роль инстантонов как седловых точек евклидова функционального интеграла в квантовой теории поля и некоторые связанные с этим вопросы. Цель Дополнения -- дать первоначальное представление об этом довольно сложном аспекте квантовой теории поля; изложение в нем схематично и никоим образом не претендует на полноту (например, мы полностью оставляем в стороне важные вопросы, касающиеся суперсимметричных калибровочных теорий). Для чтения Дополнения необходимо знакомство с квантовой теорией калибровочных полей.

Разумеется, большинство вопросов, затронутых в этой книге, так или иначе рассматривается в имеющихся монографиях, учебниках и обзорах по квантовой теории поля, далеко не полный перечень которых помещен в конце книги. В определенном смысле эта книга может служить введением в предмет.

В книге содержатся два математических отступления, где кратко, без претензии на полноту или математическую строгость излагаются элементы теории групп и алгебр Ли и гомотопической топологии. Это должно сделать возможным чтение книги без постоянного обращения к более специальной литературе по данным вопросам.

Мне бы хотелось выразить благодарность моим коллегам Ф.Л.Безрукову, Д.Ю.Григорьеву, М.В.Либанову, Д.В.Семикозу, П.Г.Тинякову, С.В.Троицкому и Д.Т.Шону за большую помощь в подготовке и чтении курса лекций, внимательное чтение рукописи и подготовку ее к публикации.

## Об авторе



### Валерий Анатольевич Рубаков

Выдающийся физик-теоретик, ученый с мировым именем, один из крупнейших специалистов в области классической и квантовой теории поля, физики элементарных частиц и космологии.

Родился 16 февраля 1955 г. Окончил физический факультет МГУ им.М.В.Ломоносова (1978). Доктор физико-математических наук (1990), профессор (1997), академик РАН (1997). Главный научный сотрудник Отдела теоретической физики Института ядерных исследований РАН. Удостоен звания "Заслуженный профессор МГУ" (1999). Лауреат премии им.А.А.Фридмана РАН (1999), Международной премии им.И.Я.Померанчука ИТЭФ (2003), премии им.М.А.Маркова ИЯИ (2005).