

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ им. Л. Д. Ландау  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН)**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН,  
член-корреспондент РАН  
В. В. Лебедев  
«25» декабря 2015 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ Б1.В.ОД.4  
«Теория поля»**

По направлению подготовки: 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

По направленности подготовки: 01.04.02 – «Теоретическая физика»

Уровень образования: Подготовка кадров высшей квалификации

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения – очная

Принята на заседании Ученого  
совета ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН  
«25» декабря 2015 г.,  
Протокол № 33

Черноголовка 2015


Рабочая программа дисциплины обязательной дисциплины «Теория поля» (Б1.В.ОД.4)

для основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО) подготовки кадров высшей квалификации по направлению подготовки 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ по направленности (наименование) подготовки 01.04.02 теоретическая физика составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования «Подготовка кадров высшей квалификации» по направлению подготовки кадров высшей квалификации 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ (ФГОС ВО), утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации №867 от 30.07.2014 с изменениями и дополнениями от 30 апреля 2015 г.
2. Паспорт научной специальности 01.04.02 — «Теоретическая физика» разработанный экспертами ВАК Минобрнауки РФ в рамках Номенклатуры специальностей научных работников, утверждённой приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 25.02.2009 г. № 59.
3. Программа-минимум кандидатских экзаменов по специальностям 01.04.02 — «Теоретическая физика» и 01.04.07 — «Физика конденсированного состояния» с учетом особенностей сложившейся в ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН научной школы.

Составитель программы:

д.ф.-м.н.



Я. П. Пугай

«Согласовано»:

Зам. директора ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН  
по науке, д.ф.-м.н., профессор



И. В. Колоколов

Зав. аспирантурой, к.ф.-м.н., н.с.



С. С. Вергелес

НЕ ДЛЯ КОПИРОВАНИЯ

## 2. Цель и задачи освоения дисциплины

**Целью** изучения настоящей дисциплины является подготовка квалифицированных научных кадров в области теоретической физики, способных вести научно-исследовательскую работу, самостоятельно ставить и решать актуальные научные и практические задачи.

**Задачи** дисциплины включают формирование у аспирантов системы знаний и основных понятий по современной теории калибровочных полей и развитие способности к научно-исследовательской работе и выработку потребности к самостоятельному приобретению знаний по теоретической физике.

## 3 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО по направлению подготовки кадров высшей квалификации 03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Дисциплина «Теория поля» (Б1.В.ОД.4) относится к обязательным дисциплинам вариативной части Блока 1 «Дисциплины» основной профессиональной образовательной программы аспирантуры по направлению подготовки 03.06.01 физика и астрономия по направленности (наименование) подготовки 01.04.02 теоретическая физика.

Программа курса состоит из двух частей. Первая часть начинается с изложения классической теории полей Янга-Миллса, затем рассматривается квантование калибровочных полей и развивается теория возмущений, включая перенормировки. Обсуждаются явления асимптотической свободы и конфайнмента. Дается изложение основ теории электрослабых взаимодействий (Стандартная модель). Вторая часть курса посвящена более сложным аспектам современной теории поля, включая топологические свойства калибровочных теорий и элементы теории струн.

## 4. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Общепрофессиональные компетенции:	
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области теоретической физики с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
Универсальные компетенции:	
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

Профессиональные компетенции	
ПК-А	способностью самостоятельно выделять различные физические механизмы в физическом феномене, подбирать адекватные модели для описания этих механизмов (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-В	способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов теоретической физики, в том числе микроскопическое и феноменологическое описание, теорию возмущений и диаграммный методы (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-Г	способностью применять различные математические методы, такие как ТФКП, решение дифференциальных уравнений, применение теории групп, диаграммная техника, при исследовании математических уравнений
ПК-Д	готовность сотрудничать с экспериментальными группами по планированию физических экспериментов и анализу полученных экспериментальных данных, способностью выделять в экспериментальной ситуации отдельные физические феномены и составлять адекватную математическую модель, описывающую эти феномены (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-Е	готовность к дальнейшему самообразованию и расширению компетенции, способностью локализовать общие принципы теоретической физики для нового физического феномена (в соответствии с профилем подготовки)

**В результате освоения дисциплины обучающиеся должны**

**знать:**

- основополагающие сведения по современной квантовой теории поля, а именно:
- построение квантовой теории для бозе и ферми частиц;
- теорию перенормировок;
- теорию калибровочных полей;
- суперсимметрию и ее использование в квантовой теории поля;
- теорию солитонов и инстантонов;
- построение конформных теорий поля
- основы теории струн
- основы теории электрослабых взаимодействий и квантовой хромодинамики

**уметь:**

- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач;
- анализировать данные эксперимента и сопоставлять теоретические предсказания и

- экспериментальные результаты;
- делать качественные выводы при анализе асимптотических режимов в изучаемых проблемах;
  - осваивать новые предметные области и теоретические модели;
  - пользоваться адекватным математическим аппаратом при решении практических задач;
  - эффективно использовать IT-технологии и компьютерную технику;
  - конструировать физические подходы, способные описывать физические явления.

**владеть:**

- навыками построения минимальной модели, описывающей интересующие аспекты изучаемого физического явления;
- свободно основными понятиями квантовой теории поля, калибровочных теорий и теории суперструн, что позволяет решать необходимые задачи на современном уровне.

**5. Объем дисциплины, виды учебной работы и форма отчетности**

Вид учебной работы	Часов	ЗЕТ
Общая трудоемкость дисциплины	108	3
Аудиторные занятия:	42	1.17
лекции	42	1.17
Самостоятельная работа	59	1.64
Контроль	7	0.19

Форма отчетности: зачет с оценкой.

**6. Содержание и структура дисциплины**

**6.1. Учебный план по дисциплине**

№	Название тем	Количество часов				Всего
		лек.	семинары	СР	К	
1.	Калибровочные теории	20	-	25	3	48
2.	Топологические свойства и элементы теории струн	22	-	34	4	60
	Итого часов:	42	-	59	7	108

Самостоятельная работа заключается в разборе задач и упражнений по курсу.

## **6.2. Содержание лекционного курса**

### **Часть 1. Калибровочные теории**

1. Введение. Сильные и слабые взаимодействия как калибровочные.
2. Некоторые сведения из алгебр Ли.
3. Классическая теория полей Янга-Миллса. Калибровочные поля, калибровочные преобразования, ковариантная производная, напряженность. Локальные и нелокальные наблюдаемые. Действие. Уравнения движения. Ковариантное сохранение тока. Скобки Пуассона. Геометрический смысл калибровочного поля.
4. Квантование калибровочного поля - гамильтонов подход. Связи первого рода и фиксация калибровки. Конечномерный пример
5. Выбор калибровки. Калибровка внешнего поля. Духи Фаддева-Попова. Грибовские копии.
6. Правила Фейнмана
7. БРСТ квантование. БРСТ оператор и его когомологии. Геометрическая интерпретация БРСТ. Тожества Уорда (Славнова-Тейлора). Унитарность.
8. Перенормировки: регуляризации и вычитания. Преимущества и недостатки разных типов регуляризаций. Индекс расходимости диаграмм. Z-факторы для функций Грина. Перенормируемость калибровочных теорией.
9. Асимптотическая свобода. Вычисление однопетлевой бета-функции. Эффективный заряд. Аномальные размерности. Размерная трансмутация. Дилатационная аномалия.
10. Квантовая Хромодинамика. Кварки и адроны. Конфайнмент. Предел больших N.
11. Слабые взаимодействия. Лептоны. Структура слабого тока. V-A теория. Распад мюона. Нарушение C- и P- инвариантностей.
12. Спонтанное нарушение глобальных и локальных симметрий. Теорема Голдстоуна. Механизм Хиггса. Квантование теорий со спонтанно нарушенной калибровочной симметрией. Калибровка 'т Хоофта.
13. Стандартная модель. Калибровочный сектор. Хиггсовский сектор. Кварки и лептоны. Матрицы смешивания.
14. Аномалии в калибровочных теориях. Аномальные симметрии. Классификация аномалий. Вычисление аномалий методом Вергелеса-Фуджикавы. Киральные аномалии и их сокращение в Стандартной модели.

## Часть 2. Топологические свойства и элементы теории струн

15. Неабелевы калибровочные поля. Неабелевы глобальные симметрии, неабелева калибровочная инвариантность и калибровочные поля: группа  $SU(2)$ . Обобщения на другие группы. Уравнения поля. Задача Коши и условия калибровки.

16. Простейшие топологические солитоны. Кинк, масштабные преобразования и теорема об отсутствии солитонов. Вихрь. Солитон в модели  $n$ -поля в  $(2+1)$ -мерном пространстве-времени. Скирмион.

17. Элементы гомотопической топологии. Гомотопия отображений. Фундаментальная группа. Гомотопические группы. Расслоения и гомотопические группы.

18. Магнитные монополи. Солитон в модели с калибровочной группой  $SU(2)$ . Магнитный заряд. Дионы.

19. Инстантоны и сфалероны в калибровочных полях. Евклидовы калибровочные теории. Классические вакуумы и инстантоны в  $(1+1)$ -мерной абелевой модели Хиггса. Инстантоны в четырехмерной теории Янга-Миллса. Классические вакуумы в четырехмерных калибровочных теориях. Сфалероны в четырехмерных моделях с механизмом Хиггса.

20. Бозонная струна. Действие для  $p$ -мерной браны. Действие для струны. Классическая теория струны. Каноническое квантование струнного действия. Квантование в калибровке светового конуса.

21. Теория струн с суперсимметрией на мировом-листе. Струна Рамона-Невье-Шварца. Глобальная суперсимметрия мирового-листа. Конформная инвариантность. Граничные условия и разложение по модам. Каноническое квантование РНШ струны. Квантование РНШ струны в калибровке светового конуса. Суперсимметричная конформная теория поля и БРСТ квантование.

22. Струна с суперсимметрией пространства-времени. Действие для  $D0$  браны. Суперсимметричное струнное действие. Квантование действия Грина-Шварца. Калибровочные аномалии и их сокращение.

23. Торическая-дуальность и Дирихле-браны. Бозонная струна и  $Dp$ -браны. Дирихле-браны в теории суперструн типа II. Теория суперструны типа I. T-дуальность в присутствии фоновых полей. Действие для  $D$ -браны.

24. Гетеротические струна. Неабелева калибровочная симметрия в теории струны. Фермионная конструкция гетеротической струны. Торическая компактификация. Бозонная конструкция гетеротической струны.

25. M-теория и струнные дуальности. Низкоэнергетическое эффективное действие. S-дуальность. M-теория. Дуальности в M-теории.

26. Инстантоны и монополи в Калибровочной теории поля. Суперсимметричные Калибровочные теории поля. Дуальность Зайберга-Виттен. Теорема Дюстермаата-Экмана



о точной квазиклассике и ее обобщения. Инстантонное вычисление препотенциала Зайберга-Виттена. Корреляционные функции Конформной теории поля из 4-мерной Калибровочной теории поля.

27. N=2 Суперсимметричные калибровочные теории. Пространства модулей инстантонов. Точная квазиклассика и формула локализации. Критические точки на пространствах модулей. Формулы Некрасова. Алгебра Вирасоро и конформные блоки. АГТ-гипотеза и новые, связанные с ней, результаты.

## **7. Самостоятельная работа аспирантов**

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется собеседованием. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

## **8. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов**

Контрольные вопросы для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины совпадают с пунктами содержания лекционного курса.

### **8.1. Пример экзаменационного билета**

1. Квантовая Хромодинамика. Кварки и адроны.
2. M-теория и струнные дуальности. Низкоэнергетическое эффективное действие

После окончания курса аспирантам дается набор вопросов для зачета.

## **9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

### **9.1. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

1. К. Ициксон, Ж.Б. Зюбер, "Квантовая теория поля", тт.1-2, М., Мир, 1984.
2. С. Вайнберг, "Квантовая теория поля", тт.1-2., М., ФИЗМАТЛИТ, 2003.
3. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. Москва-Ижевск: РиХД, 2001.
4. Славнов А.А., Фаддеев Л.Д. "Введение в квантовую теорию калибровочных полей", М., Наука, 1978.
5. Л. Б. Окунь, "Лептоны и кварки", М., Наука, 1990.

6. А. Ю. Морозов, "Аномалии в калибровочных теориях", УФН 150, 337-416 (1986).  
[<https://ufn.ru/ru/articles/1986/11/a/>]

7. Рубаков В. А., Классические калибровочные поля. М.: КомКнига, 2005.

8. А. М. Поляков, Калибровочные поля и струны, Черноголовка: ИТФ им Л.Д. Ландау, 1995.

### **8.3. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

См. список литературы

### **8.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

On-line доступ к журналам «Журнал экспериментальной и теоретической физики», «Письма в ЖЭТФ», к журналам: Physical Review Journals Published by the American Physical Society, к некоторым публикациям издательств Elsevier и Springer/Nature Publishing Group (из подписки ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН).

### **8.5. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

аудиторный фонд ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН;  
ноутбук, мультимедиа-проектор, экран;  
рабочее место с выходом в Интернет;  
библиотечный фонд ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН