


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Томский государственный педагогический университет»  
(ТГПУ)

УТВЕРЖДАЮ:  
декан физико-математического  
факультета  
Е.Г. Пьяных  
  
« 26 » \_\_\_\_\_

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

*Б1.В. ДВ.1 Теория калибровочных полей*  
*Трудоёмкость (в зачетных единицах) - 11*

Направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия  
Направленность (профиль) подготовки: 01.04.02 Теоретическая физика  
Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь  
Форма обучения: очная

## 1. Цели изучения учебной дисциплины

Учебная дисциплина «Теория калибровочных полей» ставит своей целью изучение некоторых общих методов теории поля, в основе которых лежит идея неабелевой калибровочной инвариантности. Калибровочные поля широко используются в современной теоретической физике. Примерами калибровочных полей являются электромагнитные поля, поля Янга-Миллса, применяемые в теории фундаментальных взаимодействий, гравитационные поля, описываемые общей теорией относительности и ее обобщениями. Новейшее развитие теоретической физики высоких энергий, связанное с идеями суперсимметрии и концепцией суперструн, также в значительной мере основано на использовании общих методов теории калибровочных полей. Курс ставит своей задачей познакомить студентов с принципом построения калибровочных моделей теории поля, с особенностями канонического формализма в теории калибровочных полей, методами квантования калибровочных полей.

## 2. Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина является дополнением к основной дисциплине Б1.Б.3 Теоретическая физика в рамках обучения аспирантов по специальности «Теоретическая физика» и предназначена для подготовки специалистов по теории поля. Учебная дисциплина опирается на стандартные курсы «Классические поля» и «Квантовая теория поля». Освоение данного курса даст возможность ориентироваться в научной литературе по современным проблемам теории поля, использовать достижения физики фундаментальных взаимодействий в научной работе по теоретической физике и в преподавании физических курсов в высших учебных заведениях.

## 3. Требования к уровню освоения программы

После изучения данной дисциплины аспирант должен понимать физические представления и математические методы теории калибровочных полей, уметь выводить базовые соотношения и применять общие методы к конкретным моделям теории поля.

В результате изучения дисциплины аспирант должен обладать следующими *общепрофессиональными компетенциями*:

- способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

В результате изучения дисциплины аспирант должен обладать следующими *профессиональными компетенциями*:

- способностью свободного владения знаниями фундаментальных разделов теоретической физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач (ПК-1);
- способностью использовать новейшие методы и достижения теоретической физики в своей научно-исследовательской деятельности (ПК-2).

Карты компетенций, критерии уровня сформированности компетенций приведены в Приложениях №1 и №2, соответственно.





## 5. Содержание учебной дисциплины

### 5.1. Разделы учебной дисциплины

| №п/п | Наименование раздела дисциплины (темы)                      | Аудиторные часы |        |                         |              |                                      | Самостоятельная работа (час) |
|------|---|-----------------|--------|-------------------------|--------------|--------------------------------------|------------------------------|
|      |   | Всего           | Лекции | Практические (семинары) | Лабораторные | В т. ч. интерактивные формы обучения |                              |
| 1.   | Калибровочный принцип                                       | 4               | 4      | -                       | -            | 2                                    | 66                           |
| 2.   | Гамильтонова формулировка калибровочных теорий.             | 10              | 10     | -                       | -            | 5                                    | 100                          |
| 3    | Квантование калибровочных теорий в лагранжевом формализме   | 8               | 8      | -                       | -            | 4                                    | 100                          |
| 4    | Квантование калибровочных теорий в гамильтоновом формализме | 8               | 8      | -                       | -            | 4                                    | 100                          |
|      | <b>Итого:</b>   | 30              | 30     | -                       | -            | 15                                   | 366                          |

### 5.2. Содержание разделов дисциплины

#### 1. Калибровочный принцип

Конструкция Янга-Миллса, локальная симметрия, поле Янга-Миллса, лагранжиан поля Янга-Миллса. Калибровочная трактовка гравитации. Понятие о калибровочных теориях общего вида.

#### 2. Гамильтонова формулировка калибровочных теорий

Канонический формализм при наличии связей в фазовом пространстве, связи первого и второго рода, физический сектор теории. Каноническая формулировка теории поля Янга-Миллса. Понятие о канонической формулировке гравитации.

#### 3. Квантование калибровочных теорий в лагранжевом формализме

Функциональный интеграл для полей Янга-Миллса, конструкция Фаддеева-Попова, калибровки, духовые поля. Преобразования Беки-Руэ-Стора-Тютинна (БРСТ), БРСТ заряд, тождества Славнова-Тейлора и их применение к перенормировке калибровочных теорий.

#### 4. Квантование калибровочных теорий в гамильтоновом формализме

Функциональный интеграл для гамильтоновых систем со связями первого рода. Пространство состояний калибровочной теории, Конструкция Баталина-Фрадкина-Вилковыского (БФВ), БФВ заряд и его свойства.

### 5.3. Лабораторный практикум

Лабораторный практикум не предусмотрен.

## 6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 6.1. Основная литература по дисциплине:

1. И.Л. Бухбиндер, Релятивистская симметрия, Томск. Изд-во ТГПУ, 2012, 104 стр.
2. И.Л. Бухбиндер, Модели теории поля, Томск. Изд-во ТГПУ, 2012, 78 стр.

3. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков, Квантовые поля, Москва, Физматлит, 2011, 382 стр. (на кафедре)

#### 6.2. *Дополнительная литература:*

1. Вайнберг, Стивен. Квантовая теория поля : пер. с англ. / С. Вайнберг. — М. : Физматлит, 2003. Т.1: Общая теория. — 2003. — 648 с.
2. Вайнберг, Стивен. Квантовая теория поля : пер. с англ. / С. Вайнберг. — М. : Физматлит, 2004-. Т. 2: Современные приложения. — 2004. — 528 с.
3. I.L. Buchbinder, Elements of Supersymmetric Field Theory, Томск, Изд-во ТГПУ, 2010, 106 стр.
4. Ициксон, К. Квантовая теория поля Т. 1: В 2 т. / К. Ициксон, Ж. –Б. Зюбер; Новокузнецк НФМИ, 2000, - 448 с.
5. Ициксон, К. Квантовая теория поля Т. 2: В 2 т. / К. Ициксон, Ж. –Б. Зюбер; Новокузнецк НФМИ, 2000, - 400 с.
6. Гитман, Д.М. Каноническое квантование полей со связями / Д.М. Гитман, И.В. Тютин, М.: Наука, 1986. – 215 с.
4. В.А. Рубаков, Классические калибровочные поля. Бозонные теории, Изд-во Либроком, 2010, 334 стр.
7. Славнов, А.А. Введение в квантовую теорию калибровочных полей / А.А. Славнов, Л.Д. Фаддеев. - М.: Наука, 1988. – 267 с.
8. Коллинз Дж. Перенормировка. / Дж. Коллинз. – М.: Мир, 1988. – 446 с.
9. Henneaux, M. Quantization of Gauge Systems / Henneaux M., Teitelboim M. – Princeton: Princeton Univ. Press, 1992. – 520 p.
10. Henneaux, M. Hamiltonian form of path integral for theories with gauge freedom // Physics Reports. – 1985. - Vol. 126, No 1, P. 1-66.
11. Buchbinder, Ioseph L. и др. Effective Action in Quantum Gravity/I. L. Buchbinder, S. D. Odintsov, I. L. Shapiro; Tomsk Pedagogical Institute, Russia.-Bristol and Philadelphia:Institute of Physics Publishing,1992.-413 p. Buchbinder, I.L. Ideas and Methods of Supersymmetry and Supergravity / Buchbinder I.L., Kuzenko S.M. - Bristol: IOP Publishing House, 1998. – 656 p.
12. Пескин, М. Введение в квантовую теорию поля. / М. Пескин, Д. Шредер. – М.: РХД, 2001. –783 с.
13. Рубаков, В.А. Классические калибровочные поля./ В.А. Рубаков. – М.: УРСС, 1999.- 335 с.
14. Райдер Л. Квантовая теория поля. / Л. Райдер. – М.: Мир, 1987. – 512 с.

#### 6.3. *Средства обеспечения освоения дисциплины*

Для успешного освоения дисциплины аспирантам рекомендуется посетить следующие адреса Веб-ресурсов: сайты библиотек – [libserv.tspu.edu.ru](http://libserv.tspu.edu.ru) (ТГПУ), [lib.tpu.ru](http://lib.tpu.ru) (ТПУ), [lib.tsu.ru](http://lib.tsu.ru) (ТГУ), [elibrary.ru/defaultx.asp](http://elibrary.ru/defaultx.asp) (Научная электронная библиотека), сайт [xxx.lanl.gov](http://xxx.lanl.gov), где имеются статьи по всем разделам физики, электронная библиотечная система «Книгофонд» <http://www.knigafund.ru/>; электронная библиотечная система «Библиотех» <http://www.bibliotech.ru/>; портал электронных книг - [www.book-portal.info](http://www.book-portal.info)

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

Специального материально-технического оснащения не требуется.



## **7. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

### *7.1. Методические рекомендации (материалы) преподавателю*

Реализация компетентностного подхода должна предусматривать широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (семинаров в диалоговом режиме, дискуссий, рецензирования аспирантами работ друг друга в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся). Поэтому первые пять семестров аспиранты самостоятельно изучают разделы дисциплины, общаясь с преподавателем на консультациях, готовясь к дискуссиям, которые проводятся во время аудиторных занятий в последних трех семестрах.

### *7.2. Методические рекомендации для аспирантов*

Дисциплина предполагает знание аспирантами на высоком уровне классических университетских курсов Теоретическая физика, Высшая математика, Методы математической физики. Методика преподавания дисциплины построена таким образом, что аспиранты самостоятельно изучают разделы дисциплины в течение первых 5 семестров, при этом регулярно встречаясь с преподавателем на консультациях. В течение 6-8 семестров предусмотрены аудиторные занятия, половина которых проводится в форме дискуссии.

При самостоятельной работе аспирантам предлагается изучить основную и, при необходимости, дополнительную литературу, разобраться в физической постановке задачи заданной темы, перебрать варианты возможных решений задачи, выполнить математические преобразования, направленные на решение задачи, понять физический смысл решения.

## **8. Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся**

Проверка качества усвоения знаний в конце каждого семестра обучения осуществляется в форме зачета. Для контроля усвоения материала аспирантам предлагаются контрольные вопросы и задания для самостоятельной подготовки. Кроме того, предлагаются вопросы к государственному экзамену.

### *8.1. Контрольные вопросы и задания для самоподготовки:*

**а) контрольные вопросы:**

1. Принцип калибровочной инвариантности
2. Ковариантная производная
3. Тензор напряженности поля Янга-Миллса
4. Лагранжиан поля Янга-Миллса
5. Алгебра Ли группы Пуанкаре
6. Калибровочные производные для группы Пуанкаре
7. Связи в фазовом пространстве
8. Связи первого рода
9. Связи второго рода.
10. Примеры теорий со связями второго рода
11. Примеры теорий со связями первого рода
12. Гамильтониан в теориях со связями первого рода
13. Функциональный интеграл Фаддеева-Попова
14. Ковариантная калибровка в теории поля Янга-Миллса
15. Лагранжиан духовых полей в теории поля Янга-Миллса
16. БРСТ преобразования
17. Контрленды в теории поля Янга-Миллса
18. Функциональный интеграл для гамильтоновой системы со связями первого рода

## 19. БФВ заряд и его нильпотентность

### б) задания для самостоятельной работы:

1. Вывод коммутатора ковариантных производных в теории поля Янга-Миллса
2. Проверка калибровочной инвариантности действия Янга-Миллса
3. Вывод уравнений движения в теории поля Янга-Миллса
4. Тензор кривизны и тензор кручения для алгебр Пуанкаре
5. Калибровочная инвариантность в гравитации.
6. Калибровочная теория общего вида, генераторы, структурные постоянные.
7. Теория антисимметричного тензорного поля второго ранга.
8. Построение функционального интеграла для калибровочных теорий общего вида с независимыми генераторами.
9. Проверка БРСТ инвариантности действия с калибровкой и полями духов.
10. Вывод тождеств Славнова-Тейлора.
11. Применение тождеств Славнова-Тейлора для доказательства калибровочно-инвариантной перенормируемости.
12. Понятие о квантовых аномалиях.
13. Общие свойства гамильтониана в каноническом формализме со связями первого рода.
14. Нахождение связей в теории поля Янга-Миллса
15. Построение гамильтониана в теории поля Янга-Миллса
16. Нахождение связей в теории гравитации
17. Построение гамильтониана в теории гравитации
18. Вывод функционального интеграла по фазовому пространству для теорий со связями первого рода.
19. Переход от функционального интеграла по фазовому пространству к интегралу по конфигурационному пространству
20. Построение БФВ заряда
21. Проверка нильпотентности БФВ заряда.
22. Определение и свойства физических состояний.

### 8.2. Перечень вопросов к государственному экзамену:

1. Вычисление тензора напряженности для группы  $SU(2)$
2. Вычисление тензора напряженности для  $SU(3)$
3. Вычисление тензора напряженности для группы Пуанкаре
4. Лагранжиан и калибровочные преобразования в общей теории относительности.
5. Лагранжиан и калибровочные преобразования в модели бозонной струны
6. Коммутатор генераторов калибровочных преобразований в калибровочной теории общего вида.
7. Лагранжиан полей духов в теории поля Янга-Миллса с калибровочной группой  $SU(2)$
8. Лагранжиан полей духов в теории поля Янга-Миллса с калибровочной группой  $SU(3)$
9. Функциональный интеграл Фаддеева-Попова для гравитации
10. БРСТ преобразования в теории поля Янга-Миллса
11. БРСТ преобразования в теории гравитации
12. Индекс расходимости в теории поля Янга-Миллса
13. Индекс расходимости в гравитации
14. Функциональный интеграл по фазовому пространству в теории поля Янга-Миллса
15. Функциональный интеграл по фазовому пространству в теории гравитации
16. БФВ заряд и его нильпотентность
17. БФВ заряд в теории поля Янга-Миллса
18. БФВ заряд в теории гравитации
19. БФВ заряд в теории бозонной струны



Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Министерства образования и науки РФ от 30.07.2014 года № 867

Рабочая программа учебной дисциплины составлена:


д.ф.-м.н., профессор,

зав. кафедрой теоретической физики  И.Л. Бухбиндер

Рабочая программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры теоретической физики протокол № 5 от 26 мая 2016 года.

Зав. кафедрой теоретической физики


д.ф.-м.н.

 И.Л. Бухбиндер

Рабочая программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией физико-математического факультета протокол № 2 от 26 мая 2016 года.

Председатель учебно-методической комиссии ФМФ

д.п.н, к.ф.-м.н., профессор КОФ

 З.А.Скрипко



## Карты компетенций

### КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ОПК-1

КОМПЕТЕНЦИЯ: *способность* самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

- *общепрофессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования «03.06.01 Физика и астрономия», уровень ВО аспирантура, вид профессиональной деятельности научно-исследовательская, преподавательская.*

### КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ПК-1

КОМПЕТЕНЦИЯ: *способность* свободного владения знаниями фундаментальных разделов теоретической физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач;

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

- *профессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования «03.06.01 Физика и астрономия», уровень ВО аспирантура, вид профессиональной деятельности научно-исследовательская.*

### КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ПК-2

КОМПЕТЕНЦИЯ: *способность* использовать новейшие методы и достижения теоретической физики в своей научно-исследовательской деятельности;

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

- *профессиональная компетенция выпускника образовательной программы по направлению подготовки высшего образования «03.06.01 Физика и астрономия», уровень ВО аспирантура, вид профессиональной деятельности научно-исследовательская.*

## Критерии оценивания уровня сформированности компетенций

| Компетенция (группы компетенций) | Уровни | Критерии   | Формы оценивания/ вид деятельности   |
|----------------------------------|--------|--|--|
| 1                                | 2      | 3  | 6  |
| ОПК-1<br>ПК-1<br>ПК-2            | 1      | Знает методы научного исследования в области теоретической физики, в том числе с использованием информационных и коммуникационных технологий | Материалы индивидуального проекта, фрагменты диссертационной и квалификационной работ, зачет |
|                                  | 2      | Способность к научно-исследовательской деятельности в области теоретической физики в рамках научно-исследовательской группы                  |  |
|                                  | 3      | Способность к самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области теоретической физики   |  |