

· Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан физического факультета

  
С.Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

**Квантовая теория поля**

по направлению подготовки

**03.04.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения  
**Очная**


Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2021**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.01.01

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК

  
О.М. Сюсина

Томск – 2021

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ИПК-1.1 – Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости.

– ИПК-1.2 – Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать.

– ИПК-1.3 – Владеет навыками аналитической переработки информации, проведения исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий, обобщения и представления результатов, полученных в процессе решения задач исследования.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить понятийный аппарат и методы квантовой теории поля.

– Научиться применять понятийный аппарат и методы квантовой теории поля для решения практических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 1, экзамен.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен владеть основными понятиями квантовой теории поля, методами математической физики, методами квантования систем со связями.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 16 ч.;

–практические занятия: 16 ч.;

– в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Представление амплитуд переходов функциональным интегралом в моделях с бозевскими полями.

Функциональный интеграл в координатном представлении. Функциональный интеграл в представлении Баргманна-Фока. Свойства функциональный интегралов в КТП. Производящий функционал матрицы рассеяния.

Тема 2. Функциональный интеграл для производящего функционала функций Грина.

Представление производящего функционала функций Грина функциональным интегралом.

Тема 3. Антиккоммутирующие переменные и фермионные поля.

Понятие об алгебре и анализе с антикоммутирующими переменными. Определение и свойства функционального интеграла по антикоммутирующим полям. Представление производящего функционала функций Грина фермионных полей функциональным интегралом.

Тема 4. Петлевое разложение эффективного действия.

Определение эффективного действия. Связь эффективного действия с производящим функционалом связанных функций Грина. Петлевое разложение. Формальное выражение для однопетлевой поправки к эффективному действию. Эффективный потенциал Коулмена-Вайнберга. Энергетическая интерпретация эффективного потенциала.

Тема 5. Квантование калибровочных теорий специального вида.

Калибровочные теории специального и общего видов. Физические величины в калибровочных теориях. Постановка задачи квантования калибровочной теории.

Тема 6. Метод Фаддеева-Попова.

Мера функционального интеграла калибровочной теории специального вида после фиксации калибровки. Души Фаддеева-Попова. Действие Фаддеева-Попова. Квантование модели Янга-Миллса в  $R$  калибровке. Правила Фейнмана.

Тема 7. БРСТ-симметрия.

БРСТ-симметрия производящего функционала функций Грина калибровочной теории специального типа. Независимость от выбора калибровки средних от калибровочно-инвариантных операторов.

Тема 8. Теория перенормировок.

Двухпетлевое эффективное действие модели  $\lambda\phi^4$ . Регуляризация, перенормировка и устранение однопетлевых ультрафиолетовых расходимостей. Контрчлены. Условия нормировки. Общая процедура построения перенормированной теории возмущений. Основные теоремы теории перенормировок в квантовой теории поля. Устранение двухпетлевых расходимостей в модели  $\lambda\phi^4$ . Индекс поверхностной расходимости и перенормируемость теории по индексу. Суперперенормируемые, перенормируемые и неперенормируемые теории. Релятивистски-инвариантные перенормируемые теории в  $D=4$ .

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения контрольных работ, заданий и тестов по материалам курса, и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение контрольных заданий – 40, тестов – 10. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в 1 семестре проводится в устной форме по экзаменационным билетам.

Результаты экзамена определяются оценкой, исходя из результатов ответов на экзамене (60%) и текущей аттестации в течение семестра (40%) в соответствии с балльной шкалой оценивания: количество набранных баллов более 80 — «отлично», от 65 до 79 — «хорошо», от 50 до 64 — «удовлетворительно, менее 50 баллов — «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет состоит из двух частей.

Первая часть представляет собой основной вопрос, проверяющий сформированность компетенций ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК-1.3. Ответы даются в развернутой форме, включая практические задачи.

Вторая часть содержит дополнительный вопрос из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющий соответствие индикатору достижения компетенций ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК-1.3. Ответ на вопрос второй части дается в краткой форме, включающей краткую интерпретацию полученных результатов.

Примерный перечень теоретических вопросов

Вопрос 1. Структура полюсов функции Грина. Перенормировка поля и массы.

Вопрос 2. Метод Фаддеева-Попова. Души Фаддеева-Попова. Правила Фейнмана в модели Янга-Миллса.

Дополнительные вопросы.

Вопрос 1. Интегрирование в алгебре Березина.

Вопрос 2. Дать определение суперперенормируемых теорий.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронные учебные курсы по дисциплине в электронном университете «Moodle»: <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=25910>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен в 1 семестре.

1. Представление амплитуд переходов функциональным интегралом в моделях с бозевскими полями. Представление Баргманна-Фока.
2. Функциональный интеграл для производящего функционала функций Грина бозевских полей.
3. Алгебра и анализ с антикоммутирующими переменными.
4. Функциональный интеграл для производящего функционала функций Грина фермиевских полей.
5. Петлевое разложение эффективного действия.
6. Квантование калибровочных теорий специального вида. Метод Фаддеева-Попова.
7. БРСТ-симметрия производящего функционала функций Грина в методе Фаддеева-Попова. Независимость наблюдаемых от выбора калибровки.
8. Структура полюсов функции Грина, перенормировка поля и массы (на примере теории  $\lambda\phi^4$ ).
9. Устранение двухпетлевых ультрафиолетовых расходимостей в теории  $\lambda\phi^4$ . Общая процедура построения перенормированной теории возмущений. Основные теоремы теории перенормировок в квантовой теории поля.
10. Общая процедура построения перенормированной теории возмущений. Основные теоремы теории перенормировок в квантовой теории поля. Суперперенормируемые, перенормируемые и неперенормируемые теории. Релятивистски-инвариантные перенормируемые теории в  $D=4$ .

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

1. Вычисление матричных элементов оператора эволюции в представлении Баргманна-Фока.
2. Построение теории возмущений для производящего функционала функций Грина и вычисление пропагаторов для бозевских полей.
3. Дифференцирование и интегрирование функций от нечетных переменных.
4. Построение теории возмущений для производящего функционала функций Грина и вычисление пропагаторов для фермиевских полей.
5. Вычисление потенциала Коулмена-Вайнберга. Дзета-функция от оператора эллиптического типа. Однопетлевое эффективное действие в терминах дзета-функции.
6. Построение действия Фаддеева-Попова и правил Фейнмана для теории Янга-Миллса.
7. БРСТ-инвариантные величины.

8. Вычисление и перенормировка однопетлевых интегралов в двухточечной и четырехточечной вершинных функциях Грина в модели лямбда фи 4.

9. Вычисление и перенормировка двухпетлевых интегралов в двухточечной и четырехточечной вершинных функциях Грина в модели лямбда фи 4.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- подготовку к экзаменам.

Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение.

1. Метод фонового поля. Калибровка фонового поля.
2. Операторные разложения.
3. Метод ренормализационной группы.
4. R-операция и общая схема перенормировки в квантовой теории поля.
5. Квантовые аномалии.
6. Эффективные теории поля.
7. R<sub>xi</sub> калибровки и теорема эквивалентности голдстоуновских бозонов.

Темы для рефератов и учебно-методическая литература для самостоятельной работы по разделам дисциплины «Квантовая теория поля»:

Тема 1. Аннигиляция электрон-позитронной пары в адроны.

Литература:

1. L. S. Brown, Quantum Field Theory. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 542 p.
2. М. Е. Пескин, Д. Е. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая механика”, 2001. – 784 с.
3. Л.Б. Окунь, Лептоны и кварки. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 352 с.
4. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современный приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.
5. R. Ticciati, Quantum Field Theory for Mathematicians. – Cambridge: Cambridge University Press, 1999. – 699 p.

Тема 2. Процессы глубоко неупругого рассеяния в КХД.

Литература:

1. М. Е. Пескин, Д. Е. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая механика”, 2001. – 784 с.
2. L. S. Brown, Quantum Field Theory. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 542 p.
3. J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein, Dynamics of the Standard Model. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 536 p.
4. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современный приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.

Тема 3. Массы калибровочных бозонов в теории электрослабого взаимодействия.

Литература:

1. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современные приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.

2. М. Е. Пескин, Д. Е. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая механика”, 2001. – 784 с.
3. Л.Б. Окунь, Лептоны и кварки. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 352 с.
4. J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein, Dynamics of the Standard Model. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 536 p.
5. В.М. Емельянов, Стандартная модель и ее расширения. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.

Тема 4. Понятие об аномалиях. Сокращение аномалий в теории электрослабого взаимодействия.

Литература:

1. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современный приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.
2. М. Е. Пескин, Д. Е. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая механика”, 2001. – 784 с.
3. В.М. Емельянов, Стандартная модель и ее расширения. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.
4. J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein, Dynamics of the Standard Model. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 536 p.

Тема 5. Объединение теории электрослабых и сильных взаимодействий.

Литература:

1. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современный приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.
2. М. Е. Пескин, Д. Е. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая механика”, 2001. – 784 с.
3. Л.Б. Окунь, Лептоны и кварки. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 352 с.
4. J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein, Dynamics of the Standard Model. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 536 p.
5. В.М. Емельянов, Стандартная модель и ее расширения. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.

Тема 6. Инстантонное исчисление.

Литература:

1. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современный приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.
2. J. Zinn-Justin, The principles of instanton calculus // in Recent Advances in Field Theory and Statistical Mechanics, J.-B. Zuber and R. Stora, eds., Les Houches, Session XXXIX. -- 1982. – P. 40-172.
3. Large-Order Behaviour of Perturbation Theory // in Current Physics – Sources and Comments, J.-C. Le Guillou, J. Zinn-Justin, eds., 1990. – 580 p.

## **12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет**

а) основная литература:

1. С. Вайнберг. Квантовая теория полей (в 3-х томах). Т.1-2//пер с англ. под ред. Б.Л. Воронова, 2001 г; электронная версия; пер с англ. под ред. В.Ч. Жуковского, М., Физматлит. 2003 г. 648 с.
2. М. Пескин, Д. Шредер. Введение в квантовую теорию поля//Москва-Ижевск. РХД (Регулярная и хаотическая динамика). 2001. 784 с.
3. К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер. Квантовая теория поля (в 2-х томах)//М. Мир. 1984. 448+400 с.
4. Л. Райдер. Квантовая теория поля//М. Мир. 1987. 512 с.; Волгоград. Платон. 1998. 512 с.
5. Дж. Д. Бьеркен, С.Д. Дрелл. Релятивистская квантовая теория. Том 2. Релятивистские квантовые поля//М. Наука. 1978. 408 с.
6. П. Рамон. Теория поля//М. Мир. 1984. 332 с.; М. Бибфизмат. 1995. 332 с.

б) дополнительная литература:

1. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. Введение в теорию квантованных полей//М. Наука. 1973. 416 с.
2. Н.Н. Боголюбов, А.А. Логунов, И.Т. Тодоров. Основы аксиоматического подхода в квантовой теории поля//М. Наука. 1969. 424 с.
3. Б.С. Девитт. Динамическая теория групп и полей//М. Наука. 1987. 288 с.
4. W. Siegel. Fields.//<http://xxx.lanl.gov/e-print/hep-th/9912205>. 738 p.
5. А.Н. Кушниренко. Введение в квантовую теорию поля//М. Высшая школа. 1983. 319 с.
6. С. Швебер. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля//М. Ин.лит. 1963. 842 с.
7. П.А.М. Дирак. Лекции по квантовой теории поля//М. Мир. 1971. 243 с.; М. Меркурий-ПРЕСС. 2000. 242 с.
8. В. Паули. Общие принципы волновой механики//Москва-Ленинград. ОГИЗ. 1947. 332 с.
9. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Квантовая электродинамика//М. Наука. 1989. 723 с.
10. А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий. Квантовая электродинамика//М. Наука. 1981. 432 с.
11. В.Н. Грибов. Квантовая электродинамика//Москва-Ижевск. РХД. 2001. 288 с.
12. Р. Фейнман. Квантовая электродинамика//М. Мир. 1964. 219 с.; Новокузнецк. НФМИ. 2000. 218 с.
13. Р. Фейнман. Теория фундаментальных процессов//М. Наука. 1978. 199 с.
14. Г.А. Сарданашвили. Современные методы теории поля (в 4-х томах)//М. УРСС. 1996-1999. 4+167+214+ с.
15. Дж. Коллинз. Перенормировка//М. Мир. 1988. 446 с.
16. John Collins. The problem of scales: renormalization and all that//<http://xxx.lanl.gov/e-print/hep-ph/9510276>. 52 p.
17. О.И. Завьялов. Перенормированные диаграммы Фейнмана//М. Наука. 1979. 317 с.
18. А.Н. Васильев. Функциональные методы в квантовой теории поля и статистике//Ленинград. ЛГУ. 1976.
19. В.Н. Попов. Континуальные интегралы в квантовой теории поля и статистической физике//М. Атомиздат. 1976 г. 256 с.
20. Р. Фейнман, А. Хибс. Квантовая механика и интегралы по траекториям//М. Мир. 1968. 382 с.; Новокузнецк. НФМИ. 1998. 380 с.
21. А.А. Славнов, Л.Д. Фаддеев. Введение в квантовую теорию калибровочных полей//М. Наука. 1988. 267 с.
22. Д.М. Гитман, И.В. Тютин. Каноническое квантование полей со связями//М. Наука. 1986. 215 с.
23. К. Хуанг. Кварки, лептоны и калибровочные поля//М. Мир. 1985. 382 с.

в) ресурсы сети Интернет:

<http://arxiv.org> База электронных препринтов: разделы hep-th, hep-ph, qg-qc.

<http://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/qft.html>. Кэмбриджские лекции по квантовой теории поля.

<https://www.physics.harvard.edu/events/videos/Phys253>. Гарвардские лекции С. Колмена по квантовой теории поля.

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX;

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате, оснащенные системой («Актру»).

#### **15. Информация о разработчиках**

Казинский Петр Олегович, доктор физико-математических наук, доцент, кафедра квантовой теории поля физического факультета ТГУ, профессор.