



## **Рабочая программа дисциплины «Квантовая теория поля»**

для подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по направлению 01.06.01 «Математика и механика»

профили: 01.01.02 Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление  
01.01.03 Математическая физика;  
01.01.04 Геометрия и топология;  
01.01.05 Теория вероятностей и математическая статистика;  
01.01.06 Математическая логика, алгебра и теория чисел

Разработчик программы

Семенов А.Г., к.физ.-мат.н., доцент факультета математики

Согласована Академическим советом Аспирантской школы по математике  
«24» октября 2017 г., протокол № 12

Москва - 2017

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика программы.*

## **1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям аспиранта по направлению «01.06.01 Математика и механика», профили: 01.01.02 Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление; 01.01.03 Математическая физика; 01.01.04 Геометрия и топология; 01.01.05 Теория вероятностей и математическая статистика; 01.01.06 Математическая логика, алгебра и теория чисел, и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину и аспирантов.

Программа разработана в соответствии с:

2. Образовательным стандартом НИУ ВШЭ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению «Математика и механика»;
3. Образовательной программой «Математика и механика» подготовки аспиранта;
4. Учебными планами подготовки аспирантов по направлению «01.06.01 Математика и механика», вышеуказанных профилей, утвержденными в 2017 г.

## **5. ЦЕЛЬ, РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРЕРЕКВИЗИТЫ**

В настоящее время квантовая теория поля является основным средством описания явлений происходящих в микромире: взаимодействия элементарных частиц, строение адронов и т. п. Её методы широко используются и в других областях теоретической физики: конденсированное состояние вещества, статистическая механика, теория турбулентности и др. Помимо этого, квантовая теория поля служит важнейшим стимулом для развития множества современных математических исследований. Курс посвящён изучению основных идей и методов квантовой теории поля, а также обсуждению применения её подходов к различным областям современной теоретической и математической физики. Будет рассказано о квантовании скалярных и калибровочных теорий, методе функционального интегрирования, построении теории возмущений и диаграммах Фейнмана,  $(1+1)$ -мерных точно решаемых теориях, а также о применении этих подходов в различных областях современной науки.

Предварительная подготовка: Гамильтонова механика, Уравнения с частными производными, группы и алгебры Ли, Классическая теория поля, Квантовая механика.

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины аспирант осваивает компетенции:

Компетенция	Код по ОС ВШЭ	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	УК-1	Демонстрирует способность стратегически и креативно мыслить, творчески подходить к оценке и решению проблем.	Практические занятия, посвящённые критическому чтению специальных текстов. Самостоятельная работа с академическими текстами
Способность генерировать оригинальные теоретические конструкции, гипотезы и исследовательские вопросы	УК-2	Демонстрирует способность выбирать наиболее релевантные изучаемому предмету методы и стратегии исследований	Диспуты, дискуссии, подготовка докладов и выступлений
Способность осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения	УК-5	Анализирует, оценивает потенциал новых учебно-методических ресурсов, целесообразность их использования в процессе исследования	Диспуты, групповые дискуссии, участие в исследовательских и творческих проектах; самостоятельная работа
Способность к научно-исследовательской деятельности в области фундаментальной и/или прикладной математики, в частности, в областях математической логики, алгебры, теории чисел, алгебраической геометрии, дифференциальной геометрии, топологии, дифференциальных уравнений, динамических систем, теории вероятностей и математической статистики, математической физики	ПК-1	Демонстрирует способность стратегически и креативно мыслить, творчески подходить к оценке и решению проблем Анализирует мировые тенденции в математических кругах, демонстрирует их понимание и творчески использует в собственных исследованиях	Практическая работа в различных формах аудиторной и самостоятельной работы
Способность проводить теоретические и экспериментальные	ОПК-1	Демонстрирует способность эффективно и творчески работать в исследовательских	Практическая работа в различных формах аудиторной и

исследования в математике, математической физике, информатике, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1)		группах, выбирать наиболее эффективные методы и технологии исследования	самостоятельной работы
Способность к разработке новых методов исследования, их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в математике, математической физике, информатике с учетом правил соблюдения авторских прав	ОПК-2	Демонстрирует способность эффективно и творчески работать в исследовательских группах, выбирать наиболее эффективные методы и технологии исследования	Практическая работа в различных формах аудиторной и самостоятельной работы

#### 4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к дисциплинам по выбору, предлагаемым к изучению аспирантам на первом, втором и третьем году обучения.

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

- Теория поля, симметрии, физические реализации.
- Скалярное поле и его квантование (операторный подход).
- Наблюдаемые и S-матрица.
- Метод функционального интегрирования.
- Ряд теории возмущений и построение Фейнмановских диаграмм.
- Калибровочные поля и особенности их квантования.
- Абелевы и неабелевы теории, трюк Фаддеева – Попова.
- Фермионы в квантовой теории поля.
- Бесконечности в квантовой теории поля и методы работы с ними.
- Физические эффекты в КЭД и модельных системах.
- (1+1)-мерные системы.
- Применение методов квантовой теории поля в смежных областях.
- Интересные непертурбативные явления в модельных системах (при наличии времени).

## 6. ОЦЕНИВАНИЕ

$H$  = Накопленная оценка есть средняя оценка по всем домашним контрольным в семестре.

$\mathcal{E}$  = оценка за экзамен

Полная оценка это  $0.4H + 0.6\mathcal{E}$ . Округление в меньшую сторону.

## 7. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### Тематика заданий текущего контроля

Примерные вопросы/задания для домашнего задания или для самостоятельного разбора

1. Теорема Вика для обычного и  $T$ -упорядоченного произведения полей.
2. Расчет симметричных факторов диаграмм Фейнмана в подходе функционального интеграла.
3. Производящий функционал сильносвязных функций Грина и их перенормировки.

### Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

Примерный перечень вопросов к зачету (экзамену) по курсу.

1. Найти по теореме Нетер плотность энергии-импульса фермионного поля Дирака.
2. Доказать положительную определенность метрики пространства состояний квантового фотонного поля в лоренцевской калибровке.
3. Провести выделение расходимости собственной энергии фотона в одной петле в размерной регуляризации.
4. Привести к нормальному виду оператор  $S$ -матрицы самодействующего скалярного поля до второго порядка по константе взаимодействия.

## 8. РЕСУРСЫ

### 1. Основная литература

Пескин, М.

Введение в квантовую теорию поля / М. Пескин, Д. Шредер; Пер. с англ. под ред. А. А. Белавина, А. В. Беркова. – М.; Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. – 783 с. - ISBN 978-5-939720-83-0.

### 2. Дополнительная литература

Ландау, Л. Д.

Теоретическая физика: учеб. пособие для вузов: в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; Под ред. Л. П. Питаевского. – М.: Физматлит. – (Сер. "Теоретическая физика") . - ISBN 5-922100-53-Х.

Книга

53 Л222

Т.4 : Квантовая электродинамика / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – Изд. 4-е, испр. – 2002. – 719 с. - ISBN 5-922100-58-0.

### 3. Программное обеспечение

№ п/п	Наименование	Условия доступа
1.	Microsoft Windows 7 Professional RUS Microsoft Windows 10 Microsoft Windows 8.1 Professional RUS	Из внутренней сети университета (договор)
2.	Microsoft Office Professional Plus 2010	Из внутренней сети университета (договор)
3.	LaTeX пакет верстки научных текстов	Свободно распространяемый программный продукт

### 4. Профессиональные базы данных, информационные справочные системы, интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)

№ п/п	Наименование	Условия доступа
	<b>Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы</b>	
1.	База препринтов Cornell University	<a href="https://arxiv.org/">https://arxiv.org/</a>
2.	База данных зарубежной периодики MathSciNet	Онлайн доступ из локальной сети НИУ ВШЭ
	<b>Интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)</b>	

1.	Открытое образование	<a href="https://openedu.ru">https://openedu.ru</a>
2.	Coursera	<a href="http://www.coursera.org">http://www.coursera.org</a>
3.	edX	<a href="https://www.edx.org/course">https://www.edx.org/course</a>
4.	MITOPENCOURSE WARE	<a href="https://ocw.mit.edu/index.htm">https://ocw.mit.edu/index.htm</a>

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

Учебные аудитории для лекционных занятий по дисциплине обеспечивают использование и демонстрацию тематических иллюстраций, соответствующих программе дисциплины в составе:

- ПЭВМ с доступом в Интернет (операционная система, офисные программы, антивирусные программы);

- мультимедийный проектор с дистанционным управлением.

Учебные аудитории для самостоятельных занятий по дисциплине оснащены персональными компьютерами, с возможностью подключения к сети Интернет и доступом к электронной информационно-образовательной среде НИУ ВШЭ.

Формат изучения дисциплины: без использования онлайн курса