



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

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

профили: 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  
«09» октября 2015 г., протокол № 11

Москва - 2015

*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 01.01.03 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:

- Образовательным стандартом НИУ ВШЭ подготовки научно-педагогических кадров по направлению «Математика и механика»;
- Образовательной программой «Математика и механика» подготовки аспиранта;
- Учебными планами подготовки аспирантов по направлению «01.06.01 Математика и механика», вышеуказанных профилей, утвержденными в 2015 г.

## **2. 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	<i>Из внутренней сети университета (договор)</i>
2.	Microsoft Office Professional Plus 2010	<i>Из внутренней сети университета (договор)</i>
3.	LaTeX пакет верстки научных текстов	<i>Свободно распространяемый программный продукт</i>

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

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

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