

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов»*

*Факультет физико-математических и естественных наук*

**Институт Физических Исследований и Технологий (ИФИТ)**

Рекомендовано МССН

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины**

**Quantum Field Theory / Квантовая теория поля**

---

**Рекомендуется для направления подготовки/специальности**

03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность программы (профиль)**

01.04.02 – Theoretical Physics/Теоретическая физика

**Квалификация (степень) выпускника**

Исследователь. Преподаватель-исследователь.

**1. Цели и задачи дисциплины:** Курс предназначен для формирования у будущих физиков – теоретиков широких представлений о направлении развития современной теоретической физики. В первую очередь это касается таких научных направлений, как физика элементарных частиц и атомного ядра.

**2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:**

Дисциплина относится к вариативной части. Курс по выбору

**3. Требования к результатам освоения дисциплины:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- Владение фундаментальными знаниями в основных разделах теоретической физики, включая классическую и квантовую теорию поля, физику ядра и элементарных частиц, физику конденсированного состояния (ПК-2)

**4. Объем дисциплины и виды учебной работы**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц.

| Вид учебной работы                    | Всего часов |     |
|---------------------------------------|-------------|-----|
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>     | 40          |     |
| В том числе:                          | -           |     |
| <i>Лекции</i>                         | 20          |     |
| <i>Практические занятия (ПЗ)</i>      | -           |     |
| <i>Семинары (С)</i>                   | 20          |     |
| <i>Лабораторные работы (ЛР)</i>       | -           |     |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b> | 68          |     |
| Общая трудоемкость                    | час         | 108 |
|                                       | зач. ед.    | 3   |

**5. Содержание дисциплины**

**5.1. Содержание разделов дисциплины**

| Название разделов (тем) дисциплины                            | Краткое содержание разделов (тем) дисциплины:  |
|---|--|
| 1. «Наивный» подход к квантованию поля: функциональный метод. | Поле как совокупность осцилляторов – метод вторичного квантования. Единственность представления Фока перестановочных соотношений.  |
| 2. Структура пространства Гильберта в теории поля.            | Пространство Фока. Тензорное представление операторов в квантовой теории поля в пространстве Фока. Правило суперотбора. Общие принципы квантования полей: правило Дирака и динамический принцип Швингера – Фейнмана. |
| 3. Канонический формализм в теории по-                        | Скобки Пуассона в голономном базисе.   |

|  |  |
|--|--|
| ля.  | Алгебраические свойства операторов поля и следствия динамического принципа Швингера – Фейнмана. Теорема Людерса – Паули о связи спина со статистикой.  |
| 4. Разбиение полей на положительно- и отрицательно-частотные компоненты.     | Операторы рождения и уничтожения в спиральном базисе. Квантование скалярного поля. Причинная функция Фейнмана. Релятивистский оператор положения. Квантование векторного массивного поля. Условие Лоренца.   |
| 5. Квантование электромагнитного поля.                                       | Духовые состояния. Условие Ферми. Квантование спинорного поля Дирака. Ренормируемые и неренормируемые теории поля. Теорема Гейзенберга. Общие свойства матрицы рассеяния. Условие причинности Боголюбова. Матрица рассеяния в квантовой теории поля в представлении Гейзенберга. Уравнения Янга – Фельдмана. |
| 6. Представление взаимодействия.   | Уравнение Томонаги – Швингера. Адиабатическая матрица рассеяния Дайсона – Боголюбова.  |
| 7. Приведение матрицы рассеяния к нормальной форме.                          | Правила Фейнмана в $x$ -пространстве. Вычисление матричных элементов $S$ -матрицы: правила Фейнмана в $p$ -пространстве.   |
| 8. Формула Мёллера для сечения двухчастичного рассеяния.                     | Комптон-эффект. Метод проекционных операторов для вычисления матричных элементов матрицы рассеяния. Учёт радиационных поправок в $S$ -матрице. Массовый и поляризационный операторы в квантовой электродинамике.   |
| 9. Регуляризация по Паули-Вилларсу.  | $R$ -операция Боголюбова. Спектральное представление Челлена – Лемана для полных функций Грина. Уравнения Дайсона для полных функций Грина в квантовой электродинамике.  |
| 10. Уравнения Швингера для полных функций Грина в квантовой электродинамике. | Основные эффекты квантовой электродинамики: экранировка.   |

## 6. Лабораторный практикум не предусмотрен

### 7. Структура курса

Количество аудиторных часов: 10 лекций по 2 аудиторных часа; 10 семинаров по 2 аудиторных часа. Всего: 40 аудиторных часов.

Самостоятельная работа: 68 часов.

**Итого:** 108 часов.

### **Темы занятий**

#### ***Организационно-методическое построение курса.***

Курс состоит из лекций, практических занятий (семинаров), предусмотрено проведение консультаций. Лекции проводятся в интерактивном режиме – слушатели вовлекаются в дискуссию методом постановки вопросов по представленному материалу, а также по материалу, отвечающему базовому уровню подготовки. Вопросы формулируются в форме, провоцирующей активную реакцию слушателей.

Формат семинара – разбор материала, данного слушателям для самостоятельной проработки с целью лучшего усвоения и закрепления полученных знаний, а также для получения опыта их практического использования. Материал имеет форму практических задач, решение которых требует как аналитических, выкладок так иногда и ограниченного компьютерного моделирования. Семинар проходит в дискуссионной форме и носит характер мастер-класса.

Промежуточная аттестация в течение семестра проводится в виде теста по пройденному материалу. В конце семестра – экзамен в письменной форме. Экзаменационная заданье содержит только задачи, решение которых требует активного использования полученных в течение семестра знаний. После собеседования выставляется итоговая оценка.

### ***Содержание курса***

#### ***Организационно-методическое построение курса.***

Курс состоит из лекций, практических занятий (семинаров), предусмотрено проведение консультаций. Лекции проводятся в интерактивном режиме – слушатели вовлекаются в дискуссию методом постановки вопросов по представленному материалу, а также по материалу, отвечающему базовому уровню подготовки. Вопросы формулируются в форме, провоцирующей активную реакцию слушателей.

Формат семинара – разбор материала, данного слушателям для самостоятельной проработки с целью лучшего усвоения и закрепления полученных знаний, а также для получения опыта их практического использования. Материал имеет форму практических задач, решение которых требует как аналитических, выкладок так иногда и ограниченного компьютерного моделирования. Семинар проходит в дискуссионной форме и носит характер мастер-класса.

Промежуточная аттестация в течение семестра проводится в виде теста по пройденному материалу. В конце семестра – экзамен в письменной форме. Экзаменационная заданье содержит только задачи, решение которых требует активного использования полученных в течение семестра знаний. После собеседования выставляется итоговая оценка.

### ***Содержание курса***

Содержание курса посвящено изложению фундаментальных сведений по методам квантовой теории поля в применении к задачам физики элементарных частиц. В курсе квантовой теории поля даются основные представления о методах описания элементарных частиц и их взаимодействий в области высоких энергий. Курс опирается на

квантовую механику, релятивистскую механику и электродинамику. Предполагается знание основ теории групп.

### Темы лекций

#### Тема 1. Основы классической теории поля

Вариационный принцип в теории поля. Действие как аддитивный функционал. Формула Адамара для вариации действия. Теоремы Нетер и законы сохранения в классической теории поля. Внешние и внутренние группы симметрии. Релятивистский центр тяжести. Вариационная производная Томонаги и канонический формализм в теории поля. Лагранжев и гамильтонов формализмы. Скобка Пуассона в теории поля. Уравнения Гамильтона и Гамильтона – Якоби. Классические теоремы смещения, вращения и заряда. Интегральный инвариант Пуанкаре – Картана.

Уравнение Клейна – Гордона – Фока и свойства его решений. Разбиение полей на частотные части и условие его лоренц-инвариантности. Решение задачи Коши для простейших полей – скалярного, массивного векторного и электромагнитного. Структура сохраняющихся величин для этих полей: энергия, импульс и спин поля.

#### Тема 2. Групповые методы в теории частиц (нерелятивистская физика)

Инфинитезимальный метод построения неприводимых представлений групп Ли. Операторы Казимира и наблюдаемые. Неприводимые представления группы вращений  $SO(3)$  и ее универсальной накрывающей  $SU(2)$ . Отображение Картана и реализация представлений в пространстве однородных полиномов. Классификация состояний по четности по Янгу – Тимомно и ряд Клебша – Гордана для группы вращений. Коэффициенты Клебша – Гордана. Теорема Вигнера – Эккарта и расчет бранчингов (относительных вероятностей каналов реакций). Правило Шмушкевича как следствие принципа симметрии Кюри и зарядовой независимости ядерных сил

#### Тема 3. Групповые методы в теории частиц (релятивистская физика)

Неприводимые представления группы Лоренца и ее универсальной накрывающей  $SL(2, C)$ . Бесконечность унитарных представлений группы Лоренца. Алгебра Ли группы Пуанкаре. Вектор Паули – Баргмана – Любанского - Широкова и операторы Казимира группы Пуанкаре. Малые группы и метод индуцированных представлений. Массивные и безмассовые неприводимые представления группы Пуанкаре в канонической и спинорной реализациях (схема Баргмана – Вигнера). Реализация Парити – Швингера неприводимых представлений группы Пуанкаре. Алгебраическая реализация Хариш Чандры и алгебра Петито – Дурфина – Кеммера. Постулат редукции и теорема Умедзавы - Висконти о дивизоре. Структура дивизора для уравнений Дирака и Фирца – Паули (спин  $3/2$ ). Теоремы Бернсайда и матрицы Дирака как неприводимые представления алгебры Клиффорда.

#### Тема 4. Уравнение Дирака

Уравнение Дирака и свойства его решений, оператор Вигнера. Решение задачи Коши для уравнения Дирака. Структура наблюдаемых и канонический формализм для по-

ля Дирака. Разложение по спинорному базису (каноническому и спиральному). Представления Фолди – Ваутхайзена и Чини – Тушека. Переменные Мандельстама и структура спинорной амплитуды для процессов  $2 \rightarrow 2$ . Проекционные операторы в формализме Баргмана – Вигнера (для частиц с высшими спинами) и поляризацонная матрица плотности.

#### Тема 5. Внутренние группы симметрии

Основные типы взаимодействий элементарных частиц. Трехчастичные взаимодействия Юкавы и четырехфермионные взаимодействия. Теорема переместительности Фирца. Кварки и лептоны, проблема поколений. Унитарные симметрии сильных взаимодействий (цвет и аромат). Классификация полупростых комплексных алгебр Ли. Базис Картана – Вейля. Схемы Дынкина и корневые диаграммы. Формула Рака. Неприводимые представления группы  $SU(3)$ , весовые диаграммы. Теорема Клебша – Гордана для  $SU(3)$  (метод Шпейзера).

#### Тема 6. Принцип калибровочной симметрии

Локализация внутренних групп симметрии и векторные калибровочные поля. Теория Янга – Миллса. Кварки и глюоны как калибровочные партнеры, носители цвета в квантовой хромодинамике. Симметрия (вырождение) вакуума и симметрия лагранжиана. Спонтанное нарушение глобальной симметрии и теорема Голдстоуна. Спонтанное нарушение локальной симметрии и эффект Хиггса. Единые калибровочные модели электромагнитного и слабого взаимодействий. Стандартная модель Вайнберга – Салама. Большое объединение сильных, электромагнитных и слабых взаимодействий. Суперсимметричное объединение фермионов и бозонов. Супергравитация как локальная суперсимметрия.

## Часть II. ТЕОРИЯ КВАНТОВЫХ ПОЛЕЙ

### Тема 1. «Наивный» подход к квантованию полей

Основные принципы квантовой механики систем с конечным числом степеней свободы. Правило квантования Дирака как соответствие «скобка Пуассона  $\rightarrow$  коммутатор». Функциональный метод квантования бозонных полей (конфигурационное представление). Канонические перестановочные соотношения. Гамильтониан для вещественного скалярного поля Клейна – Гордона – Фока. Вакуумное состояние как гауссовский функционал. Бесконечность вакуумной плотности энергии. Построение возбужденных состояний как полилинейных функционалов с гауссовским весом.

### Тема 2. Метод вторичного квантования

Метод вторичного квантования как обобщение задачи о гармоническом осцилляторе: поле как совокупность осцилляторов. Представление чисел заполнения. Пространство Гильберта для поля как бесконечное тензорное произведение пространств  $L^2(\mathbb{R})$ , его несепарабельность. Теория фон Неймана бесконечных тензорных произведений:  $S(\mathcal{H})$  -последовательности, разбиение на ортогональные классы эквивалентности. Выделенность пространства Фока как содержащего циклический вектор вакуума. Единственность тензорного (фоковского) представления коммутационных соотношений. Странные (нефоковские) представления. Конденсат как нефоковский вакуум.

### Тема 3. Элементы теории обобщенных функций

Плоские волны и необходимость рассмотрения ненормированных (топологических) функциональных пространств. Задание топологии с помощью счетной системы полунорм. Полные метризуемые локально выпуклые пространства (пространства Фреше) и их элементы – основные функции. Обобщенные функции как линейные непрерывные функционалы над пространством основных функций. Пространство Шварца и функционалы над ним – обобщенные функции умеренного (медленного) роста. Распределения как функционалы над бесконечно гладкими функциями с компактным носителем. Оснащенные гильбертовы пространства. Непрерывность и унитарность преобразования Фурье в пространстве Шварца. Теорема Шварца о ядре.

#### Тема 4. Тензорное представление операторов в пространстве Фока

Пространство Фока как прямая сумма  $n$ -частичных пространств. Элементарные операторы в пространстве Фока: оператор числа частиц, операторы тензорного умножения и свертки и операторы симметризации и антисимметризации. Операторы рождения и уничтожения фермионного и бозонного типов как операторнозначные обобщенные функции умеренного роста. Коммутационные и антикоммутационные соотношения. Когерентные секторы в пространстве Гильберта.. Правила суперотбора и операторы, их порождающие: унивалентность, электрический, барионный и лептонный заряды.

#### Тема 5. Общие принципы квантования полей

Правило квантования Дирака и необходимость его обобщения в теории поля. Динамический принцип Швингера – Фейнмана как квантовый принцип стационарного действия. отождествление канонических и унитарных преобразований, генераторами которых служат вариации квантового действия. Полнота алгебры операторов поля в пространственно-подобной области и алгебраические свойства вариаций формы полевых операторов (микропричинность). Основные следствия динамического принципа Швингера – Фейнмана: операторные уравнения Лагранжа, канонические перестановочные соотношения для совпадающих времен, теоремы смещения, вращения и заряда. Зарядовая симметрия и теорема Людерса – Паули о связи спина со статистикой. Физический смысл положительно- и отрицательно-частотных полевых операторов для свободных полей. Перестановочные соотношения для фурье-амплитуд.

#### Тема 6. Квантование скалярного поля

Структура решений однородного и неоднородного уравнений Клейна – Гордона – Фока. Функция Паули – Иордана и решение задачи Коши. Запаздывающая и причинная функции Грина. Пропагатор как среднее по вакууму от хронологического произведения операторов поля. Структура энергии – импульса поля. Нормальная форма наблюдаемых (тривиальность вакуумного вклада). Инвариантная мера в импульсном пространстве (мера Лобачевского) и релятивистский оператор положения. Структура собственной функции оператора положения и радиус локализации частицы.

#### Тема 7. Квантование массивного векторного поля

Уравнения Прока как обобщение уравнений Максвелла, условие Лоренца. Решение задачи Коши для уравнений Прока. Фурье-представление решений и структура наблюдаемых: энергия, импульс, спин. Перестановочные соотношения для полей и фурье-амплитуд. Круговой (циклический) базис. Структура пропагатора.

#### Тема 8. Квантование электромагнитного поля

Поперечность реальных фотонов и нековариантность кулоновской калибровки. Лагранжиан Ферми и независимое квантование 4-потенциалов. Противоречивость перестановочных соотношений и определения вакуума. Духовые состояния (с отрицательной нормой). Дополнительное условие Ферми. Выделение физического (поперечного) сектора в гильбертовом пространстве. Структура наблюдаемых в круговом базисе. Индефинитная метрика.

#### Тема 9. Квантование спинорного поля

Лагранжиан и гамильтониан Дирака. Канонический формализм для уравнения Дирака. Разложение решения уравнения Дирака по базисным спинорам. Структура наблюдаемых и скалярного произведения. Антиперестановочные соотношения. Структура пропагатора.

#### Тема 10. Матрица рассеяния в квантовой теории поля

Различные квантовые схемы (картины): Гейзенберга, Шредингера, Дирака (взаимодействия). Учет взаимодействия в представлении Гейзенберга, фермионные и бозонные квантовые токи. Уравнения Янга – Фельдмана для интерполирующих полей. Входящие и выходящие асимптотические поля. Матрица рассеяния Уилера – Гейзенберга – Меллера и уравнение для нее в представлении Гейзенберга. Переход к представлению взаимодействия и гипотеза об адиабатическом включении взаимодействия. Уравнение Томонаги – Швингера для оператора преобразования и условие Блоха его интегрируемости.

Решение Дайсона уравнения Томонаги – Швингера и адиабатическая S-матрица Дайсона – Боголюбова (хронологическое упорядочение). Основные свойства S-матрицы: релятивистская (групповая) инвариантность и законы сохранения, унитарность как следствие адиабатической гипотезы (индекс дефекта и связанные состояния), причинность в интегральной и дифференциальной формах.

#### Тема 11. Правила Фейнмана в квантовой электродинамике

Представление S-матрицы в виде функционального степенного ряда относительно функции включения взаимодействия. Теорема Вика для нормального и T-произведений. Приведение S-матрицы к нормальной форме:

правила Фейнмана в  $x$ - и  $p$ -представлениях. Древесное приближение. Учет тождественности частиц: эквивалентные диаграммы. Нормировка векторов начального и конечного состояний, вычисление сечений реакций (формула Мёллера). Расчет простейших эффектов в квантовой электродинамике: комптон - эффект (формула Клейна – Нишины - Тамма), рождение электрон-позитронных пар, тормозное излучение, рассеяние Мёллера и Баба. Метод проекционных операторов.

#### Тема 12. Учет радиационных поправок (теория возмущений)

Петлевые диаграммы и расходимости S-матрицы. Регуляризация причинных функций по Паули – Вилларсу. Учет размерных соображений и теорема Гейзенберга о ренормируемых и неренормируемых взаимодействиях: возможность отделить эффекты структуры частиц и эффекты взаимодействия в перенормируемых теориях. Методы вычисления интегралов Фейнмана в квантовой теории поля:  $\square$ -представление Боголюбова, параметризация Фейнмана, виковский поворот, размерная регуляризация. Диаграммы собственной энергии

электрона и фотона: массовый и поляризационный операторы. Индексы диаграммы и вершины. Обобщенная вершинная функция: теорема Фарри, тождество Уорда.



Устранение расходимостей в примитивно расходящихся, неприводимых и приводимых диаграммах: метод субинтегрирования или редукций Дайсона – Салама. Р-операция Боголюбова, теорема Боголюбова – Парасюка – Хеппа.

### Тема 13. Метод полных функций Грина

Сильно- и слабо-связные графы, скелетные диаграммы и их суммирование по Дайсону. Полные функции Грина электрона и фотона и уравнения Дайсона. Спектральное представление Челлена – Лемана для полных функций Грина. Уравнения Швингера в вариационных производных, их эквивалентность уравнениям Дайсона. Методы решения уравнений Швингера:  $3\omega$ -приближение, метод Тамма – Данкова, функциональное преобразование Фурье (метод производящего функционала или метод источников Швингера). Основные эффекты квантовой электродинамики: Дельбрюк-эффект (рассеяние света на внешнем поле), Юлинг-эффект (поляризация вакуума), аномальный магнитный момент электрона, лэмбовский сдвиг. Уравнение Бете – Солпитера для двухчастичной функции Грина и для волновой функции связанного состояния двух заряженных частиц.

### Тема 14. Аксиоматическая теория S-матрицы

Теория рассеяния Хаага – Рюэля и требование асимптотической полноты. Редукционные формулы Лемана – Симанчика – Циммермана для элементов S-матрицы и схемы Боголюбова – Медведева – Поливанова и Вайтмана в аксиоматической локальной теории поля. Принцип спектральности. СРТ-теорема, связь спина со статистикой и теорема Хаага. Необходимость «странных» представлений перестановочных соотношений. Спектральное представление запаздывающего коммутатора токов Йоста – Лемана – Дайсона, аналитичность амплитуды рассеяния и дисперсионные соотношения. Дисперсионные правила сумм.

### Учебно-тематический план

| № п/п | Наименование раздела дисциплины  | Лекции | Лаб. занятия | Практ. занятия / семинары | Из них в ИФ | СРА | Всего часов |
|-------|--|--------|--------------|---------------------------|-------------|-----|-------------|
| 1.    | «Наивный» подход к квантованию поля: функциональный метод. Поле как совокупность осцилляторов – метод вторичного квантования. Единственность представления Фока перестановочных соотношений.   | 3      |              | 3                         |             | 8   | 14          |
| 2.    | Структура пространства Гильберта в теории поля. Пространство Фока. Тензорное представление операторов в квантовой теории поля в пространстве Фока. Правило суперотбора. Общие принципы квантования полей: правило Дирака и динамический принцип Швингера – Фейнмана. | 2      |              | 2                         | 1           | 8   | 12          |
| 3.    | Канонический формализм в теории поля. Скобки Пуассона  | 3      |              | 3                         | 1           | 8   | 14          |

|    |  |   |  |   |   |   |    |
|----|--|---|--|---|---|---|----|
|    | в голономном базисе. Алгебраические свойства операторов поля и следствия динамического принципа Швингера – Фейнмана. Теорема Людерса – Паули о связи спина со статистикой.   |   |  |   |   |   |    |
| 4. | Разбиение полей на положительно- и отрицательно-частотные компоненты. Операторы рождения и уничтожения в спиральном базисе. Квантование скалярного поля. Причинная функция Фейнмана. Релятивистский оператор положения. Квантование векторного массивного поля. Условие Лоренца.   | 2 |  | 2 | 1 | 8 | 12 |
| 5. | Квантование электромагнитного поля. Духовые состояния. Условие Ферми. Квантование спинорного поля Дирака. Ренормируемые и неренормируемые теории поля. Теорема Гейзенберга. Общие свойства матрицы рассеяния. Условие причинности Боголюбова. Матрица рассеяния в квантовой теории поля в представлении Гейзенберга. Уравнения Янга – Фельдмана. | 2 |  | 2 | 2 | 7 | 11 |
| 6. | Представление взаимодействия. Уравнение Томонаги – Швингера. Адиабатическая матрица рассеяния Дайсона – Боголюбова. Приведение матрицы рассеяния к нормальной форме: правила Фейнмана в $x$ -пространстве. Вычисление матричных элементов $S$ -матрицы: правила Фейнмана в $p$ -пространстве.  | 2 |  | 2 | 1 | 7 | 11 |
| 7. | Формула Мёллера для сечения двухчастичного рассеяния. Комптон-эффект. Метод проекционных операторов для вычисления матричных элементов матрицы рассеяния. Учёт радиационных поправок в $S$ -матрице. Массовый и поляризационный операторы в кванто-  | 2 |  | 2 | 2 | 7 | 11 |

|    |  |    |  |    |   |    |     |
|----|--|----|--|----|---|----|-----|
|    | вой электродинамике.   |    |  |    |   |    |     |
| 8. | Регуляризация по Паули-Вилларсу. $R$ -операция Боголюбова. Спектральное представление Челлена – Лемана для полных функций Грина. Уравнения Дайсона для полных функций Грина в квантовой электродинамике.                   | 2  |  | 2  | 1 | 7  | 11  |
| 9. | Уравнения Швингера для полных функций Грина в квантовой электродинамике. Основные эффекты квантовой электродинамики: экранировка заряда, аномальный магнитный момент электрона, лэмбовский сдвиг уровней в атоме водорода. | 2  |  | 2  |   | 8  | 12  |
|    | ИТОГО  | 20 |  | 20 | 8 | 68 | 108 |

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Мультимедийная аудитория или учебная аудитория с возможностью использования проектора и компьютерной техники для занятий по представлению презентационных материалов обучающимися. Компьютерные (дисплейные) классы с доступом к сети Интернет и электронно-образовательной среде Университета для проведения обучающимися самостоятельной работы и проведения компьютерного тестирования обучающихся (при необходимости).

### 9. Информационное обеспечение дисциплины:

а) программное обеспечение:

- ОС Windows, MS Office (программа корпоративного лицензирования (Microsoft Subscription) Enrollment for Education Solutions), браузер Firefox (лицензия MPL-2.0) или браузер Chrome (лицензия Google Chrome Terms of Service); Adobe Reader (Adobe Software License Agreement).
- ОС Linux, офисный пакет LibreOffice (лицензия MPL-2.0), ПО для просмотра pdf (например, evince (лицензия GPL-2+ CC-BY-SA-3.0)).

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- Электронная библиотека РГБ <http://www.rsl.ru/>
- Сайт библиотеки РУДН <http://lib.rudn.ru/>
- Springer/Kluwer <http://www.springerlink.com>. Журналы и книги издательства Springer/Kluwer охватывают различные области знания и разбиты на предметные категории.
- Taylor & Francis <http://www.informaworld.com>. Коллекция журналов насчитывает более 1000 именованных по всем областям знаний.
- Электронная библиотека <http://www.rsl.ru/>

### 10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

*Литература*

1. В.А. Рубаков. Классические калибровочные поля. Бозонные теории. -М.: 2005.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика в 10 томах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.

### **Список дополнительной литературы и источников в интернете**

1. Учебное пособие для вузов. / Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П.

Квантовая электродинамика. — 4-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2002 - 720 с.: ил.

2. С. Вайнберг. Квантовая теория поля. В 2-х томах. М.: 2003.

### **11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

#### ***Организационно-методическое построение курса.***

Курс состоит из лекций, практических занятий (семинаров), предусмотрено проведение консультаций. Лекции проводятся в интерактивном режиме – слушатели вовлекаются в дискуссию методом постановки вопросов по представленному материалу, а также по материалу, отвечающему базовому уровню подготовки. Вопросы формулируются в форме, провоцирующей активную реакцию слушателей.

Формат семинара – разбор материала, данного слушателям для самостоятельной проработки с целью лучшего усвоения и закрепления полученных знаний, а также для получения опыта их практического использования. Материал имеет форму практических задач, решение которых требует как аналитических, выкладок так иногда и ограниченного компьютерного моделирования. Семинар проходит в дискуссионной форме и носит характер мастер-класса.

Промежуточная аттестация в течение семестра проводится в виде теста по пройденному материалу. В конце семестра – экзамен в письменной форме. Экзаменационная заданная содержит только задачи, решение которых требует активного использования полученных в течение семестра знаний. После собеседования выставляется итоговая оценка.

### **12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

Материалы для оценки уровня освоения учебного материала дисциплины «Квантовая теория поля» (оценочные материалы), включающие в себя перечень компетенций с указанием этапов их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, разработаны в полном объеме и доступны для обучающихся на странице дисциплины в ТУИС РУДН.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Руководитель направления 03.06.01 «Физика и астрономия»

Theoretical Physics/Теоретическая физика

д.ф.-м.н., профессор



Ю. П. Рыбаков