

**Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный университет
Физический факультет**

Рассмотрена и рекомендована на
заседании кафедры квантовой механики
Протокол _____

Зав. кафедрой

В.М.Шабаев

УТВЕРЖДАЮ:
декан факультета

_____ А.С.Чирцов

**УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Фундаментальные взаимодействия и атом»
по
ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ
010700 Физика**

Разработчик: В.М.Шабаев

Рецензент: Л.Н.Лабзовский

Санкт-Петербург 2009

1. Организационно-методический раздел

1.1. Цель изучения дисциплины:

Формирование у магистрантов, обучающихся по учебному плану кафедры квантовой механики, представлений о современной теории электрослабых и сильных взаимодействий и возможностей ее проверки в атомной физике.

1.2. Задачи курса

Задачами курса являются ознакомление магистрантов с современными методами квантовой теории поля и стандартной моделью взаимодействия элементарных частиц, методами исследования электрослабого сектора стандартной модели и фундаментальных симметрий в атомной физике.

1.3. Место курса в профессиональной подготовке выпускника:

Курс дает необходимые знания о современной теории электрослабых и сильных взаимодействий и методах исследования эффектов несохранения четности и фундаментальных симметрий в атомной физике. Курс является необходимой частью базового образования физика-теоретика, специализирующегося по научным направлениям, представленным на кафедре квантовой механики.

1.4. Требования к уровню освоения содержания курса:

Прослушав курс, студенты должны знать методы квантовой теории калибровочных полей, основы стандартной модели электрослабых и сильных взаимодействий, понимать современную научную литературу по квантовой теории поля и физике элементарных частиц, уметь выводить эффективный оператор слабого взаимодействия для атомных систем, знать основные механизмы нарушения экранировки электрических дипольных моментов в атоме. Они должны знать и понимать основные результаты в данной области и методы, которыми эти результаты получены.

2. Объем и распределение часов курса по видам занятий. Формы контроля.

№ п/п	Наименование модулей, разделов, (тем)	Аудиторные занятия			Самостоятельная работа	Общая трудоемкость
		Лекции	Практич. зан. (семинары, лаб. раб.)	Всего		
1	2	3	4	6	7	8
1	Часть 1. Фундаментальные симметрии и релятивистские волновые уравнения	16		16	4	20

2	Часть 2. Лагранжев формализм и калибровочные поля	8		8	2	10
3	Часть 3. Квантование методом функционального интеграла	8		8	2	10
4	Часть 4. Квантование калибровочных полей и стандартная модель	24		24	6	30
5	Часть 5. Фундаментальные симметрии и атомная физика	8		8	2	10
Итого:		64			16	80

64 часа лекций и 16 часов самостоятельных занятий в 11 и в 12 семестре. Экзамен в 11 и 12 семестрах.

3. Форма текущего, промежуточного и итогового контроля

- Текущий контроль проводится по результатам самостоятельной работы в виде ответов на вопросы, консультаций и обсуждений.
- Экзамен в устной форме по материалу, изученному в 11 семестре. Экзамен в устной форме по материалу, изученному в 12 семестре.

4. Содержание курса

4.1 Основные вопросы и разделы лекционного курса. Краткое содержание.

Курс состоит из пяти частей.

Первая часть начинается с обсуждения принципов инвариантности в квантовой механике и связи преобразований симметрии с законами сохранения. Рассматривается инвариантность относительно трансляций в пространстве и во времени, инвариантность относительно вращений, инвариантность относительно пространственной инверсии и обращения времени. Затем рассматривается релятивистская инвариантность, группы Лоренца и Пуанкаре. Строятся релятивистские волновые уравнения: уравнение Клейна-Фока-Гордона и уравнение Дирака в киральном и стандартном представлениях. Приводятся уравнения Максвелла и Прока. Рассматриваются преобразования S, P, T для уравнения Дирака.

Во второй части вводится функционал действия и формулируется вариационный принцип, приводящий к уравнениям Эйлера-Лагранжа. Рассматривается теорема Нетер и ее следствия. Вводятся глобальные и локальные калибровочные преобразования. Рассматриваются электромагнитное поле и поле Янга-Миллса.

В третьей главе получено представление пропагатора нерелятивистской частицы через функциональный интеграл. Дан вывод уравнения Шредингера из представления для амплитуды через функциональный интеграл. Вводятся функциональный интеграл и функциональная производная для скалярных полей. Рассмотрено вычисление гауссовых функциональных интегралов, а также производящий функционал для скалярных полей и правила Фейнмана. Определены дифференцирование и интегрирование по грассмановым переменным и функциональный интеграл по ферми-полям. Рассмотрен производящий функционал для ферми-полей.

В четвертой части рассматривается квантование калибровочных полей методом Фаддеева-Попова. Строится теория возмущений для полей Янга-Миллса и диаграммная техника. Рассмотрено спонтанное нарушение дискретной симметрии и механизм генерации масс, спонтанное нарушение непрерывной симметрии и возникновение голдстоуновских бозонов. Излагается механизм Хиггса в абелевых и неабелевых калибровочных теориях. Рассматриваются бозонный и лептонный секторы теории электрослабых взаимодействий, сильные и электрослабые взаимодействия кварков. Вводится смешивание кварков и обсуждается нарушение CP-инвариантности. Рассматривается фермионный сектор стандартной модели и формулируются законы сохранения лептонного и барионного чисел.

Пятая часть посвящена изучению эффектов слабого взаимодействия и вопросам поиска нарушения T-инвариантности в атомах. Рассматривается эффективный гамильтониан P-нечетного слабого взаимодействия электрона с ядром. Обсуждаются механизмы усиления P-нечетных эффектов в атомах. Вводится понятие анапольного момента ядра. Рассматривается CPT теорема и ее следствия. Рассматривается возникновение электрического дипольного момента (ЭДМ) атома как следствие нарушения P- и T-инвариантности. Обсуждаются механизмы нарушения теоремы Шиффа в атомах и современные ограничения на ЭДМ электрона, нейтрона и протона.

4.2 Контрольно-измерительные материалы для экзамена

Окончательный контроль знаний по дисциплине осуществляется на экзаменах, проводимых в устной форме.

Примерный перечень вопросов к экзамену по курсу

- 1) Преобразования симметрии и законы сохранения в квантовой механике. Инвариантность относительно трансляций во времени и пространстве.
- 2) Инвариантность относительно вращений. Пространственная инверсия и четность.
- 3) Обращение времени. Оператор обращения времени.
- 4) Обращение времени и S-матрица. Принцип детального равновесия.
- 5) Релятивистская инвариантность. Группы Лоренца и Пуанкаре. Уравнение Клейна-Фока-Гордона.
- 6) Уравнение Дирака в киральном и стандартном представлениях.
- 7) Дискретные симметрии уравнения Дирака.
- 8) Уравнения Максвелла и Прока.
- 9) Функционал действия и уравнения Эйлера-Лагранжа.
- 10) Теорема Нетер и ее следствия.

- 11) Комплексное скалярное и электромагнитное поля. Глобальные и локальные калибровочные преобразования.
- 12) Поле Янга-Миллса.
- 13) Представление пропагатора нерелятивистской частицы через функциональный интеграл.
- 14) Вывод уравнения Шредингера из представления для амплитуды через функциональный интеграл.
- 15) Функциональный интеграл для скалярных полей. Функциональная производная.
- 16) Вычисление гауссовых функциональных интегралов.
- 17) Производящий функционал для свободного скалярного поля.
- 18) Производящий функционал для взаимодействующего скалярного поля и правила Фейнмана.
- 19) Дифференцирование и интегрирование по грассмановым переменным.
- 20) Функциональный интеграл по ферми-полям. Производящий функционал для ферми-полей.
- 21) Квантовая электродинамика: пропагаторы и калибровочные условия.
- 22) Квантование неабелевых калибровочных полей: метод Фаддеева-Попова.
- 23) Теория возмущений для полей Янга-Миллса. Диаграммная техника и духи Фаддеева-Попова.
- 24) Спонтанное нарушение дискретной симметрии и механизм генерации масс.
- 25) Спонтанное нарушение непрерывной симметрии и голдстоуновские бозоны.
- 26) Калибровочная симметрия $U(1)$ и механизм Хиггса.
- 27) Механизм Хиггса в неабелевых калибровочных теориях.
- 28) Бозонный сектор теории электрослабых взаимодействий.
- 29) Лептонный сектор теории электрослабых взаимодействий.
- 30) Сильные и электрослабые взаимодействия кварков.
- 31) Смешивание кварков и нарушение CP -инвариантности.
- 32) Фермионный сектор стандартной модели. Сохранение лептонного и барионного чисел.
- 33) Эффективный гамильтониан P -нечетного слабого взаимодействия электрона с ядром. Спиновая спираль.
- 34) Механизмы усиления P -нечетных эффектов в атомах. Несохранение четности в тяжелых атомах.
- 35) Анапольный момент ядра.
- 36) СРТ-теорема и ее следствия. Электрический дипольный момент (ЭДМ) как следствие нарушения P - и T -инвариантности.
- 37) Экранировка электрических дипольных моментов в атоме и механизмы ее нарушения.
- 38) Современные ограничения на ЭДМ электрона, нейтрона и протона.

4.3. График контрольных мероприятий

Основной формой текущего контроля являются обсуждения и консультации, регулярно проводимые преподавателем параллельно с чтением лекций. Экзамены проводятся в соответствии с расписанием экзаменационных сессий.

5. Учебно-методическое обеспечение курса

6. Рекомендуемая литература

6. Основная литература

- 1) У. Гибсон, Б. Поллард. Принципы симметрии в физике элементарных частиц. Москва, Атомиздат, 1979.
- 2) В.А. Рубаков. Классические калибровочные поля. Бозонные теории. Москва, КомКнига, 2005.

- 3) Л. Райдер. Квантовая теория поля. Москва, Мир, 1987.
- 4) М.В. Садовский. Лекции по квантовой теории поля. Москва-Ижевск, 2003.
- 5) П. Рамон. Теория поля. Москва, Мир, 1984.
- 6) А.А. Славнов, Л.Д. Фаддеев. Введение в квантовую теорию калибровочных полей. Москва, Наука, 1988.
- 7) И.Б. Хриплович. Несохранение четности в атомных явлениях. Москва, Наука, 1988.
- 8) Л.Н. Лабзовский. В книге: Физика на пороге новых открытий, под редакцией Л.Н. Лабзовского, Ленинград, ЛГУ, 1990.

6. Дополнительная литература

- 1) А.Н. Москалев. Релятивистская теория поля. Санкт-Петербург, ПИЯФ, 2006.
- 2) М.Б. Волошин, К.А. Тер-Мартirosян. Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц. Москва, Энергоатомиздат, 1984.
- 3) В.А. Рубаков. Классические калибровочные поля. Теории с фермионами. Некоммутативные теории. Москва, КомКнига, 2005.
- 4) К.Ициксон, Ж.-Б.Зюбер. Квантовая теория поля. Т.1,2, 1984.
- 5) М. Пескин, Д. Шредер. Введение в квантовую теорию поля. Москва, РХД, 2001.
- 6) Т.-П. Ченг, Л.-Ф. Ли. Калибровочные теории в физике элементарных частиц. Москва, Наука, 1987.
- 7) I.B. Khriplovich. Fundamental symmetries and atomic physics. Phys. Scr. T112, p. 52 , 2004.