

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Московский физико-технический институт
(государственный университет)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Ю.А.Самарский
____ декабря 2008 г.

ПРОГРАММА

по курсу: ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧСТИЦ
по направлению: 511600
факультет: ФНТИ
кафедра: физики и физического материаловедения
курс: 4
семестр: 8
лекции: 32 часа
практические (семинарские) занятия: 32 часа
лабораторные занятия: нет
самостоятельная работа: 2 часа в неделю
экзамен: 8 семестр
зачет: нет
ВСЕГО ЧАСОВ: 64

Программу и задание составил:
д.ф.-м.н., проф. Щепкин Михаил Германович

Программа утверждена на заседании кафедры физики и
физического материаловедения ____ декабря 2008 года

Заведующий кафедрой

В.Г. Вакс

ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Часть 2

Вторая часть курса включает все основные вопросы теории слабых взаимодействий, и ее центральным моментом является стандартная модель (СМ) электрослабых взаимодействий, а также выход за рамки СМ.

В 8-м семестре студенты знакомятся с основными достижениями четырехфермионной теории слабых взаимодействий, способной описать особенности слабых процессов при низких энергиях.

Изложение ведется с учетом знаний, полученных из лекций по квантовой теории, теории поля и, в особенности, того материала, который включен в программу предыдущего семестра. Практически весь материал, пройденный в 7-ом семестре, необходим для изучения слабых взаимодействий и, в частности, слабых взаимодействий с участием адронов. В первую очередь, это относится к симметриям адронов и сильных взаимодействий; учет этих симметрий является ключевым при расчете амплитуд целого ряда слабых процессов с участием адронов.

Конкретно программа семестра состоит в следующем.

1. Слабые взаимодействия кварков и лептонов при низких энергиях

Три поколения лептонов. Структура слабых токов. Заряженные и нейтральные токи. Аналогия между электромагнитными и слабыми взаимодействиями.

Кварковые токи; цветовые свойства кварковых токов.

Летонные, полuleптонные и нелептонные взаимодействия.

Слабые взаимодействия при низких энергиях. Правила отбора, следующие из структуры слабых токов.

(лекции: 2 часа ; семинары: 2 часа)

2. Слабое взаимодействие между лептонами

Эффективный лагранжиан. Константы взаимодействий заряженных и нейтральных токов. Свойства заряженного тока; предел безмассовых фермионов, спиральность фермионов.

Нарушение P - и C - инвариантности.

ν_e и $\bar{\nu}_e$ рассеяние. Распад мюона, $\mu^- \rightarrow e^- \nu_e \bar{\nu}_\mu$. Поляризационные явления в распаде мюона.

(лекции: 2 часа ; семинары: 2 часа)

3. Нейтринные осцилляции

Взаимодействия нейтрино.

Массовая матрица нейтрино. Сохранение лептонного заряда. Матрица смешивания. Дираковские и майорановские массы. Экспериментальные следствия. Нейтринные осцилляции. Постановка задачи. Вероятность осцилляций $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$ на примере двух поколений лептонов. Майорановские массы и двойной безнейтринный β -распад.

(лекции: 2 часа ; семинары: 2 часа)

4. Слабые адронные токи. Лептонные распады адронов с сохранением странности

Связь векторного ud -тока с изовекторным электромагнитным током. Сохранение векторного тока. Заряды как генераторы внутренней симметрии. Матричные элементы векторных и аксиальных токов для слабых распадов мезонов и барионов.

Лептонные распады заряженных π -мезонов $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$, $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$ и $\pi^0 \rightarrow e^+ \nu_e$.

Частичное сохранение аксиального тока и соотношение Гольдбергера–Треймана.

Электромагнитное взаимодействие нуклонов и матричные элементы β -распада нейтрона.

(лекции: 4 часа ; семинары: 4 часа)

5. Лептонные распады с изменением странности

Универсальность заряженного тока; гипотеза Кабиббо. Правило отбора $|\Delta S| = 1$ и $\Delta Q = \Delta S$. Лептонные распады K -мезонов. Унитарные симметрии сильных взаимодействий и свойства us -тока. Формфакторы амплитуд распадов K_{e3} и $K_{\mu 3}$.

Лептонные распады гиперонов.

(лекции: 2 часа ; семинары: 2 часа)

6. Нелептонные распады K -мезонов

Нелептонное взаимодействие, меняющее странность. Распады $K \rightarrow 2\pi$ и $K \rightarrow 3\pi$. Нейтральные K -мезоны. Правило $\Delta T = 1/2$. Соотношения между амплитудами распадов $K \rightarrow 2\pi$.

(лекции: 2 часа ; семинары: 2 часа)

7. Нейтральные K -мезоны. Осцилляции странности

Свойства нейтральных K -мезонов. Разность масс K_1 и K_2 . Очарованный кварк и переходы с $|\Delta S| = 2$. Осцилляции K -мезонов в вакууме. Регенерация K -мезонов.

Нарушение CP -инвариантности.

(лекции: 2 часа ; семинары: 2 часа)

8. Спонтанно нарушенные симметрии

Нарушение дискретной симметрии. Спонтанное нарушение глобальных абелевых и неабелевых симметрий. Теорема Голдстоуна и безмассовые бозоны. Возникновение масс фермионов.

(лекции: 4 часа ; семинары: 4 часа)

9. Калибровочные поля и эффект Хиггса

Спонтанное нарушение локальных симметрий. Спонтанное нарушение абелевых симметрий (на примере $U(1)$) и неабелевых (на примере $SU(2)$ симметрии). Физические следствия. Появление масс калибровочных бозонов.

(лекции: 4 часа ; семинары: 4 часа)

10. Единая теория слабых и электромагнитных взаимодействий

Локальная $SU(2) \times U(1)$ -симметрия. Лагранжиан электрослабой теории.

Лептонный и кварковый сектора теории. Левые и правые частицы. Массы фермионов. Свойства промежуточных бозонов. Параметры электрослабой модели, их связь с константой Ферми и электрическим зарядом.

(лекции: 4 часа ; семинары: 4 часа)

11. Некоторые следствия стандартной модели электрослабых взаимодействий

Структура нейтральных токов. Отличие лептонного и кваркового секторов. Массовая матрица кварков и спонтанное нарушение симметрии.

Процессы, обусловленные заряженными и нейтральными токами. Распады W - и Z -бозонов. Сокращение расходимостей в стандартной модели.

(лекции: 4 часа ; семинары: 4 часа)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л.Б.Окунь. *Лептоны и кварки*. Москва, "Наука", 1990.
2. Ф.Хелзен, А.Мартин. *Кварки и лептоны*. Москва, "Мир", 1987.

3. В.Б.Берестецкий, Е.М.Лифшиц, Л.П.Питаевский. *Квантовая электродинамика*. Москва, “Наука”, 1989.
4. В.Б.Берестецкий. *Проблемы физики элементарных частиц*. Москва, “Наука”, 1979.
5. Дж.Д.Бьеркен, С.Д.Дрелл. *Релятивистская квантовая теория*. Москва, “Наука”, 1978.
6. В.М.Галицкий, Б.М.Карнаков, В.И.Коган. *Задачи по квантовой механике*. Москва, “Наука”, 1979.
7. Л.Б.Окунь. *Физика элементарных частиц*. Москва, “Наука”, 1984.

Дополнительная литература

1. Т.-П.Ченг, Л.-Ф.Ли. *Калибровочные теории в физике элементарных частиц*. Москва. “Мир”, 1987.
2. М.Пескин, Д.Шредер. *Введение в квантовую теорию поля*. Москва 2001
3. Ю.Комминс, Ф.Буксбаум. *Слабые взаимодействия лептонов и кварков*. Москва, “Энергоатомиздат”, 1987.
4. М.Б.Волошин, К.А.Тер-Мартirosян. *Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц*. Москва, “Энергоатомиздат”, 1984.

Примеры задач домашних заданий и задач на семинарских занятиях

1. Почему Ξ -гиперон называется каскадным? Перечислите возможные распады Ξ^0 .
2. Найти вероятность того, что нейтрино с отличной от нуля массой, рождающееся в слабых процессах, имеет правую спиральность.
3. Найти матричный элемент двойного безнейтринного β -распада, обусловленного майорановской массой нейтрино, для случая, когда начальное и конечное ядра имеют $J^P = 0^+$.
4. Ковариантная производная в $SU(2)$ и $SU(3)$ локальных калибровочных теориях. Выражение для производной при инфинитезимальных преобразованиях.
5. Какие из этих процессов разрешены в первом порядке по слабому взаимодействию:

$$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$$

$$K^0 \rightarrow \nu_\mu \tilde{\nu}_\mu$$

$$K^0 \rightarrow \pi^+ \mu^- \tilde{\nu}_\mu$$

$$K^0 \rightarrow \pi^- \mu^+ \nu_\mu$$

$$K^0 \rightarrow \pi^0 \pi^+ \mu^- \tilde{\nu}_\mu.$$

6. Матричный элемент электромагнитного тока $\langle p_2, \sigma_2 | j_\mu | p_1, \sigma_1 \rangle$ (p_1, σ_1 и p_2, σ_2 относятся к начальному и конечному нуклонам) может содержать три поперечные структуры:

1) γ_μ ;

2) $q_\nu \sigma_{\mu\nu}$, где $q_\mu = p_{1\mu} - p_{2\mu}$;

3) $P_\mu = p_{1\mu} + p_{2\mu}$.

Показать, что только две из них линейно независимы.

7. Допустим, что в результате спонтанного нарушения $SU(2) \times U(1)$ симметрии нейтрино приобретает майорановскую массу.
 - а) Как при этом должен выглядеть сектор скалярных хиггсовских частиц?
 - б) Напишите $SU(2) \times U(1)$ -симметричное взаимодействие этих скаляров с фермионами и рассмотрите его следствия.
8. Какие древесные диаграммы дают вклад в рассеяние $W^+W^- \rightarrow W^+W^-$?
9. Вычислить вероятность распада $Z \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e$. Чему равно отношение вероятности этого распада к полной вероятности распада Z -бозона?
10. Какие диаграммы дают вклад в процесс $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$?