

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**«Московский физико-технический институт (государственный университет)»**  
**МФТИ**

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
**Проректор по учебной и методической работе**  
**\_\_\_\_\_ Д.А. Зубцов**  
**«   » \_\_\_\_\_ 20    г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**по дисциплине:** Феноменология в физике высоких энергий

**по направлению:** 010900 – Прикладные математика и физика

**профиль подготовки:** «Физика микромира»

**факультет:** ОПФ

**кафедра:** Физика высоких энергий

**курс:** 4 (бакалавриат)

**семестры:** 7,8

экзамены 7,8 сем.

**Трудоёмкость в зач. ед.: вариативная** – 6 зач. ед.

**в т.ч.:**

**лекции:** 60 ч

**практические (семинарские) занятия:** 30

**лабораторные занятия:** нет

**мастер классы, индивид. и групповые консультации:** нет

**самостоятельная работа:** 30 часов

**курсовые работы:** нет

**подготовка и сдача экзаменов:** 60

**ВСЕГО ЧАСОВ 180**

Программу составил: д.ф.м.н. проф. А.М.Зайцев

Программа обсуждена на заседании кафедры  
Физики высоких энергий ФОПФ МФТИ “13” июля 2015 г.  
**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий кафедрой

Зайцев А.М.

Декан

М.Р. Трунин

Начальник учебного управления

## Аннотация

Основная задача этого курса – дать представление о свойствах элементарных частиц, методах исследований фундаментальных взаимодействий, современных проблемах в этой бурно развивающейся области физики, научить студентов решать типовые задачи. Курс построен так, чтобы как можно быстрее подвести студентов к освоению стандартной модели фундаментальных взаимодействий, создать надежный базис для самостоятельного изучения избранных вопросов. Важнейшей особенностью курса является тесное взаимодействие теории, феноменологии и эксперимента.

Курс рассчитан на студентов, специализирующихся в физике высоких энергий. Для усвоения курса студенты должны быть знакомы с основами квантовой электродинамики, квантовомеханической теорией рассеяния, теорией групп и с основными экспериментальными методами регистрации частиц и излучений.

## 7-й семестр. Сильные взаимодействия

### 1. Высшие порядки в КЭД

Лэмбовский сдвиг

Эволюция  $\alpha_e$  с  $q^2$

Вклад адронов в  $\alpha_e$

Аномальный магнитный момент мюона

Измерение аномального магнитного момента мюона

### 2. Электромагнитные свойства адронов

Относительные ширины распадов  $V \rightarrow l^+ l^-$  в кварковой модели

Относительные ширины распадов  $V \rightarrow P \gamma$  в кварковой модели

Модель доминантности векторных мезонов

Реакции Примакова

Приближение эквивалентных фотонов

### 3. Эксперименты по измерению квантовых чисел адронов

Пространственная четность пиона

Спин пиона

C-четность пиона

Примеры разрешенных и запрещенных (подавленных) реакций

### 4. Эксперименты по проверке C, P, T инвариантности

Как преобразуются различные величины при P и T инверсиях

Сравнение сечений прямых и обратных реакций

Наблюдение несохранения P-четности в слабых взаимодействиях

Комбинированная четность

Измерение электрического дипольного момента нейтрона

### 5. Уравнение Дирака

Уравнение Клейна-Гордона

Уравнение Вейля

Уравнение Дирака  
 $\gamma$ -матрицы  
Античастицы

**6. Калибровочная инвариантность**

Локальное преобразование  $U(1)$   
Компенсирующее поле  
Безмассовый фотон  
Лагранжиан КЭД

**7. Лагранжиан КХД**

Локальное преобразование  $SU(3)_c$   
Компенсирующие поля  
Восемь безмассовых глюонов  
Самодействие глюонов. Неабелевость.  
Лагранжиан КХД

**8. Асимптотическая свобода, конфайнмент**

Эволюция  $\alpha_s$  с  $q^2$   
Асимптотическая свобода  
Конфайнмент

**9. Модели адронов**

Потенциальная модель  
Модель мешков  
Трубки  
Тяжелый кварконий

**10. Экзотические адроны**

Какие  $q\bar{q}$  состояния могут реализовываться в нерелятивистской модели  
Глюболы  
Гибридные мезоны и барионы  
Многокварковые состояния  
Пентакварковые барионы  
Состояния  $X, Y, Z$

**11. Киральная симметрия, массы кварков**

Киральная симметрия  $SU(2)_L \times SU(2)_R$   
Пион как псевдоголдстоуновский бозон  
Киральная симметрия  $SU(3)_L \times SU(3)_R$   
Массы  $\mathbf{u}$  и  $\mathbf{d}$  - кварков  
Вакуум КХД

**12. Жесткие процессы**

Партонная модель  
Эволюция структурных функций  
Обобщенные структурные функции  
Глубоконеупругое комптоновское рассеяние

### **13. Спиновая структура нуклона**

Спиновая структура нуклона в нерелятивистской кварковой модели  
Спиновый кризис  
Методы измерения спиновой структуры нуклона

### **14. Струи**

Факторизация жестких и мягких процессов  
Обнаружение струй в экспериментах на  $e^+e^-$  коллайдерах  
Алгоритмы выделения струй (конус,  $k_t \dots$ )  
Характеристики струй  
Методы калибровки энергии струй

### **15. Множественные процессы**

Быстрота и псевдобыстрота  
Лестничная модель  
Фрагментация и рекомбинация  
Правила счета для процессов с малыми  $p_t$

### **16. Реджистика**

Дисперсионные соотношения  
Унитарность  
Перекрестная симметрия  
Диаграмма Чу-Фраучи  
Померон  
Феноменология бинарных реакций

### **17. Кварк-глюонная плазма**

Фазовая диаграмма  
Критическая температура  
Энергетические потери партонов  
Коллективные свойства

8-й семестр Стандартная модель

## **1. Структура слабых взаимодействий при низких энергиях, несохранение четности**

Взаимодействие ток×ток  
Универсальность заряженного тока  
Фермиевская константа  
Левые заряженные токи  
Нейтральный ток

## **2. Распад мюона**

Амплитуда распада  
Преобразования Фирца  
Качественное обсуждение  
Эксперименты по исследованию распада мюона.

### 3. Распад пиона

Угол Кабиббо

Сохранение векторного тока

Распад  $\pi \rightarrow l \nu$

Распад  $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e \nu$

Эксперименты по исследованию распада пиона.

### 4. $\beta$ -распад нейтрона

Общий вид векторного и аксиального токов

Векторные формфакторы

Аксиальные формфакторы

Частичное сохранение аксиального тока

Эксперименты по исследованию распада нейтрона

### 5. Распады каонов.

Правило  $\Delta Q = \Delta S$

Правило  $|\Delta S| = 1$

Распады  $K_{12}$ ,  $K_{13}$ ,  $K_{14}$

Нелептонные распады

$\Delta T = 1/2$ , распады гиперонов

Редкие распады каонов

### 6. Нейтральные каоны

Переходы  $K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$

Разность масс  $K_1$  и  $K_2$

Осцилляции странности

Механизм ГИМ

Регенерация

### 7. Несохранение CP

Распады  $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-$

Феноменология нарушения CP

CP – неинвариантные эффекты

Эксперименты по исследованию нарушения CP-инвариантности в распадах каонов.

### 8. $\tau$ -лептон

Лептонные распады

Полуадронные распады

### 9. Распады тяжелых кварков

Мезоны с d и b- кварками

Лептонные распады

Нелептонные распады

t- кварк

### 10. Несохранение CP-четности в распадах тяжелых кварков

Матрица ККМ  
Измерение констант  $V_{ij}$   
Треугольник ККМ  
Измерение угла в распаде  $B \rightarrow J/\psi K^0$

### 11. Нейтринные взаимодействия

Взаимодействие нейтрино с электроном  
Взаимодействие нейтрино с нуклонами  
Эксперименты по прямому измерению массы нейтрино

### 12. Осцилляции нейтрино

Осцилляции для системы из двух нейтрино  
Эксперименты по наблюдению осцилляций.  
Взаимодействие с веществом  
Общий вид матрицы смешивания для трех нейтрино

### 13. Механизм Хиггса

Локальная абелева симметрия  
Голдстоуновский бозон  
Локальная  $SU(2)$ -симметрия  
Спонтанное нарушение локальной  $SU(2)$ -симметрии  
Хиггсовский бозон

### 14. Лагранжиан стандартной модели

Девять членов лагранжиана  
Угол Вайнберга  
Параметр  $\rho$

### 15. Свойства $Z, W$

Массы  $W$  и  $Z$  – бозонов  
Слабые заряды нейтральных токов  
Массы лептонов и кварков  
Эксперименты по измерению параметров  $W$  и  $Z$ -бозонов

### 16. Свойства $H$ бозонов

Ограничения на массу хиггсовского бозона.  
Роль хиггсовского бозона при высоких энергиях.  
Взаимодействие  $H$ -бозона с кварками  
Взаимодействие  $H$ -бозона с глюонами и фотонами  
Открытие хиггсовского бозона

Литература:

1. Д. Перкинс. Введение в физику высоких энергий. Энергоатомиздат, 1991
2. Ф.Клоуз. Кварки и партоны. М.: Мир, 1988
3. Ф.Хелзен, А.Мартин. Кварки и лептоны. Москва, Мир, 1987.
4. P.D.V. Collins, A.D. Martin. Hadron interactions, 1984, ISBN 0-85274-768-3
5. Фейнман Р., Взаимодействие фотонов с адронами, Наука, М., 1975

6. Л.Б.Окунь, Лептоны и кварки, Наука,М., 1981
7. Т.-П.Ченг, Л.-Ф.Ли. Калибровочные теории в физике элементарных частиц, Мир,1987