

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
___ мая 2012 г.

ПРОГРАММА

по курсу: СОВРЕМЕННЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ КВАНТОВЫХ ПОЛЕЙ

по направлению: 010600

факультет: ФНБИК

кафедра: физики и физического материаловедения

курс: 4

семестр: 8

лекции: 34 часа

практические (семинарские) занятия: 34 часа

лабораторные занятия: нет

самостоятельная работа: 2 часа в неделю

экзамен: 8 семестр

зачет: нет

ВСЕГО ЧАСОВ: 68

Программу и задание составил:

к.ф.-м.н., доц. Криворученко Михаил Иванович

Программа утверждена на заседании кафедры физики и
физического материаловедения ___ мая 2011 года

Заведующий кафедрой

В.Г. Вакс

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ КВАНТОВЫХ ПОЛЕЙ

1. Кварковая структура адронов

1.1 Типы частиц и их взаимодействия

Типы частиц: лептоны, кварки, калибровочные бозоны, скаляр Хиггса. Типы взаимодействий: электрослабое, сильное, гравитационное.

Лептоны: электрон (e), мюон (μ), τ -лептон и три типа нейтрино (ν_e, ν_μ, ν_τ). Три семейства лептонов.

Кварки: u, d, c, s, t, b . Три семейства кварков.

Калибровочные бозоны: фотон γ , W^+, W^- и Z^0 - бозоны, 8 глюонов, гравитон. Конфайнмент кварков и глюонов.

Скаляр Хиггса.

Примеры античастиц: позитрон, антипротон, и др. Примеры зарядов: электрический, лептонный, барионный, странность и др. Знак заряда частиц и античастиц. Истинно нейтральные частицы: фотон, Z^0 -бозон, глюоны, гравитон. Целый и полуцелый спин. Фермионы и ферми-статистика. Бозоны и бозе-статистика.

Сильные взаимодействия кварков и глюонов. Адроны как составные состояния кварков и глюонов. Барионы и мезоны. Частицы и резонансы. Сильные взаимодействия адронов.

Объединенное электромагнитное и слабое (электрослабое) взаимодействие. Дальнедействующий потенциал фотона, короткодействующие потенциалы W^+, W^- и Z^0 - бозонов.

Гравитационное взаимодействие.

Система единиц $\hbar = c = 1$.

Литература [2].

1.2 Основные состояния адронов

Тяжелые и легкие кварки. Сохранение сорта кварков в сильных взаимодействиях. u , d , s – сохраняющиеся заряды и их линейные комбинации - барионный заряд, изотопический спин, гиперзаряд Y . Сохранение I_3 и Y в электромагнитных взаимодействиях, их несохранение в слабых взаимодействиях. Цвет кварков и глюонов. Массы легких кварков, приближенные $SU(2)$ и $SU(3)$ симметрии.

Теорема Нетер и сохраняющиеся токи, отвечающие внутренним симметриям $SU(2)$ и $SU(3)$. Классификация адронов как неприводимых представления групп $SU(2)$ и $SU(3)$.

Классификация мезонных нонетов со спином $S = 0, 1$ по I, I_3 и Y .

Классификация барионного октета и декуплета со спином $S = 1/2, 3/2$ по I, I_3 и Y .

Каналы распадов, времена жизни мезонов и барионов.

Литература [1,3].

1.3 Дискретные симметрии

Пространственная инверсия. Сохранение P четности в сильных и электромагнитных взаимодействиях. Несохранение P четности в слабых взаимодействиях. P четность связанного состояния частицы и античастицы.

Зарядовое сопряжение. C четность связанного состояния частицы и античастицы.

G четность мезонов. Сохранение G четности в сильных взаимодействиях.

Примеры разрешенных и запрещенных распадов адронов.

Литература [1-7].

1.4 Изотопическая симметрия. SU(3) симметрия

Свойства группы изоспина SU(2). Спиноры и коспиноры, инвариантные тензоры, неприводимые представления.

Дикварки и мезоны. Кварковые волновые функции пионного триплета. Изоспиновые состояния в системе трех пионов. Изодублет нуклонов. Изотопически инвариантная амплитуда пион-нуклонного рассеяния. Соотношения между сечениями пион-нуклонного рассеяния в области Δ -изобары.

Свойства группы SU(3). Фундаментальное представление, неприводимые представления, их размерность, операторы Казимира.

Кварковые волновые функции октета мезонов. SU(3)-синглет. Кварковые волновые функции барионного октета и декуплета. Принцип Паули.

Литература [1,3].

1.5 Массовые формулы и смешивание

Нарушение SU(3) симметрии в массах адронов. Трансформационные свойства массового члена в лагранжиане относительно группы SU(3). Формула Гелл-Мана – Окубо для барионного октета. Массовая формула для декуплета. Массовая формула для псевдоскалярного и векторного мезонных октетов с учетом смешивания с SU(3) синглетами. Определение углов смешивания.

Массы псевдоскалярного и векторного мезонного октета в пределе точной $SU(3)$ симметрии. Глюонная компонента η' мезона.

Определение угла смешивания псевдоскалярных мезонов из ширин распада на два фотона. Определение угла смешивания векторных мезонов из ширин распада на электрон-позитронные пары.

Литература [1,3].

1.6 Магнитные моменты барионов

$SU(3)$ симметрия сильного взаимодействия предсказывает соотношения для магнитных моментов барионов. Электромагнитный ток кварков, его трансформационные свойства относительно группы $SU(3)$. Сравнение предсказаний $SU(3)$ симметрии с экспериментом.

Нарушенная $SU(3)$ симметрия. Магнитные моменты барионов в аддитивной кварковой модели. Вклад обменных токов, отклонения от аддитивности.

Литература [1,3].

1.7 Киральная симметрия

Массы кварков малы в сравнении с характерным масштабом сильных взаимодействий 1 ГэВ. Приближение безмассовых кварков. Спиральность, левые и правые кварки. Сохранение спиральности безмассовых фермионов в векторных полях.

Инвариантность лагранжиана сильных взаимодействий относительно вращений левых и правых кварков. Группа киральной

симметрии $SU(3)_L \times SU(3)_R$. Сохраняющиеся левые и правые токи. Сохраняющиеся векторный и аксиальный токи.

Матричные элементы нуклонов для векторного и аксиального зарядов. Безмассовые псевдоскалярные мезоны как голдстоуновские частицы. Вырождение по массе барионного октета как следствие существования сохраняющегося векторного заряда. Вырождение по массе в системе барионный октет плюс безмассовый псевдоскалярный мезон как следствие существования сохраняющегося аксиального заряда.

Частичное сохранение аксиальных токов. Матричные элементы псевдоскалярных мезонов для аксиального заряда. Токовые массы кварков.

Линейная и нелинейная сигма-модели: полевые модели, обладающие киральной симметрией.

Литература [4,5,8].

2. Модель Вайнберга-Салама

2.1 Поля Янга-Миллса

Глобальная абелева симметрия $U(1)$. Глобальная неабелева симметрия $SU(2)$. В основе КЭД - локальная абелева симметрия $U(1)$. Локальная неабелева симметрия $SU(2)$. Уравнения Янга-Миллса.

Литература [4,5,8].

2.2 Спонтанное нарушение симметрии

Спонтанное нарушение дискретной симметрии, глобальной и локальной $U(1)$ симметрии. Массивные абелевы калибровочные

поля. Механизм Хиггса. Спонтанное нарушение локальной $U(1)$ симметрии в сверхпроводниках.

Сверхпроводимость в конечных ферми-системах - ядрах, металлических наночастицах.

Спонтанное нарушение глобальной и локальной $SU(2)$ симметрии. Массы неабелевых калибровочных полей.

Литература [4,5,8].

2.3 Лагранжиан Вайнберга-Салама

Локальная симметрия $SU(2) \times U(1)$, калибровочные поля, левые и правые фермионы, мультиплеты кварков и лептонов, скалярное поле Хиггса. Явный вид лагранжиана.

Спонтанное нарушение симметрии. Нулевая масса фотона, массы W^+ , W^- , и Z^0 - бозонов. Константы связи электрослабой модели, выраженные через постоянную тонкой структуры и константу Ферми. Смешивание кварков, матрица Кабиббо-Кобаяши-Маскавы.

Литература [2,4,5,8].

2.4 Электрослабые процессы

Нейтральные и заряженные токи. Рассеяние электронного и мюонного нейтрино и антинейтрино на электроны. Аннигиляция электрон-позитронной пары в мюон и антимюон $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$. Взаимодействие нейтрино с нуклонами. Бета-распад нейтрона. Распад $\pi^- \rightarrow \mu\bar{\nu}_\mu$. Нарушение четности в атомах.

Рождение W и Z^0 - бозонов на встречных пучках e^+e^- . Распады W и Z^0 - бозонов. Ограничения на массу бозонов Хиггса, их

роль в обеспечении перенормируемости модели. Рождение и распады бозонов Хиггса.

Литература [2,4,5,8].

2.5 Вне стандартной модели

Массивные нейтрино, их смешивание, осцилляции нейтрино. Майорановские нейтрино, безнейтринный двойной бета-распад.

Литература [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ю. Б. Рунер и А. И. Фет*, Теория унитарной симметрии. - М: Наука, 1974.
2. *Л. Б. Окунь*, Лептоны и кварки. - М.: Наука, 1990.
3. *Ф. Клоуз*, Кварки и глюоны. Введение в теорию. - М.: Мир, 1982.
4. *С. Вайнберг*, Квантовая теория поля. Т. 1. Общая теория. - М: Физматлит, 2003.
5. *С. Вайнберг*, Квантовая теория поля. Т. 2. Современные приложения. - М: Физматлит, 2003.
6. *Дж. Бьеркен, С. Д. Дрелл*, Релятивистская квантовая теория. Т. 1, Релятивистская квантовая механика. - М.: Наука, 1978.
7. *Дж. Бьеркен, С. Д. Дрелл*, Релятивистская квантовая теория. Т. 2, Релятивистские квантовые поля. - М.: Наука, 1978.

8. К. Ициксон, Ж. Б. Зюбер, Квантовая теория поля (Т. 1 и Т. 2) - М.: Мир, 1984.

ЗАДАНИЕ

Кварковая структура адронов

1. 1 ферми (фм) = 10^{-13} см. Показать, что $\hbar c = 197$ МэВ фм.
2. Радиус ядра находится по формуле $R = 1.2 A^{1/3}$ фм, где A - число протонов и нейтронов. Чему равен радиус ядра свинца в фм, в МэВ? Боровский радиус в атоме свинца? Чему равен радиус протона? Сравнить с комптоновским радиусом электрона?
3. Чему равна гравитационная константа в единицах $\hbar = c = 1$? Масса солнца? 1 Кельвин в эВ?
4. Почему не наблюдается распад $\Xi \rightarrow \Sigma\pi$?
5. Какие законы сохранения нарушают распады $\eta \rightarrow \pi\pi$, $\eta \rightarrow \pi\pi\pi$, $\eta \rightarrow \pi^0\gamma$, $\eta \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$, $\rho \rightarrow \pi^0\pi^0$, $\rho \rightarrow \pi\pi$, $\omega \rightarrow \pi\pi$, $\omega \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$?
6. Перечислить разрешенные и запрещенные квантовые числа J^{PC} для системы кварк-антикварк.
7. Перечислить разрешенные и запрещенные квантовые числа J^P для системы двух нуклонов.
8. Найти отношение ширин $\eta \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$ и $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ распадов предполагая, что полный изоспин трех пионов равен единице и что координатная волновая функция пионов симметрична.
9. Как распределить барионы с одним s - кварком (sqq) по $SU(3)$ - мультиплетам. Какой спин у мультиплетов?

10. Найти массовую формулу для октета барионов с учетом нарушения как SU (3), так и SU (2) симметрий.
11. Найти связь между сечениями реакций $p + d \rightarrow \pi^0 + He$ и $p + d \rightarrow \pi^- + H_3$.
12. Найти угловое распределение пионов в реакции $\pi^+ + \pi^- \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ при энергии вблизи массы ρ -мезона.
13. Найти угловое распределение пионов в реакции $\pi + N \rightarrow \pi + N$ при энергии вблизи массы Δ -изобары.
14. Найти соотношение между ширинами распада $\Delta^+ \rightarrow p + \gamma$ и $\Delta^0 \rightarrow n + \gamma$.
15. Найти соотношение между ширинами распада $\rho \rightarrow \pi + \gamma$ и $\omega \rightarrow \pi^0 + \gamma$.
16. Дать классификацию по G четности состояний $\bar{N}N$.

Модель Вайнберга-Салама

1. При какой энергии четырех-фермионное взаимодействие Ферми нарушает унитарный предел в сечении $e + p \rightarrow \nu_e + n$?
2. Построить распределение по энергии вылетающего электрона в бета-распаде нейтрона для безмассового нейтрино (график Кюри). Как изменится распределение, если у нейтрино есть масса?
3. Найти сечения рождения W и Z^0 – бозонов в столкновениях e^+e^- .

Срок сдачи первого задания 07.04.2012 года.

Срок сдачи второго задания 19.05.2012 года.