

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»**

**Физический факультет
Кафедра физики элементарных частиц**



**Рабочая программа дисциплины
СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ 1**

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения

Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоя тельная работа, не включая период сессии	Самостоя тельная подготовк а к промежут очной аттестаци и	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практиче ские занятия	Лаборат орные занятия			Консультац ии	Зач ет	Диффе ренци рова нный зачет	Эк за ме н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	108	32	32		22	18	2			2
Всего 108 часа / 3 зачетные единицы из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции : ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре магистерской программы	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	8
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	9
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	9
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	10

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Основными целями освоения дисциплины «Стандартная модель 1» является знакомство с современным состоянием теории сильных и слабых взаимодействий элементарных частиц и методами теоретического анализа процессов сильного и слабого взаимодействия, знание основ квантовой хромодинамики и теории Глэшоу-Вайнберга-Салама, их роли в современной физике элементарных частиц, усвоение приемов и способов применения разработанных приближенных методов, формирование общекультурных и профессиональных навыков физика-исследователя. Для достижения поставленной цели выделяются задачи курса:

- Описание явлений адронной физики на основе симметрий квантовой хромодинамики, модели векторной доминантности, эффективных лагранжианов.
- Описание поведения полей с помощью лагранжиана КХД при сильной и слабой связи.
- Проведение перенормировки в КХД.
- Описание механизма спонтанного нарушения симметрии.
- Описание слабых распадов основных частиц.
- Описание основных процессов с участием переносчиков слабого взаимодействия W , Z бозонов и бозона Хиггса.

В курсе излагается материал, знание которого необходимо как для теоретиков и вычислителей, так и для экспериментаторов. Он включает кварковую модель адронов, основы квантовой хромодинамики и современные методы расчета процессов взаимодействия адронов, построение лагранжиана стандартной модели и его применение для описания процессов слабого взаимодействия. В данном курсе, предназначенном для магистрантов, специализирующихся по профилю "физика ядра и элементарных частиц", излагаются основы теории и современные методы теоретического анализа, позволяющие делать простые оценки для всего многообразия процессов и явлений физики элементарных частиц.

Дисциплина «Стандартная модель 1» нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции (ПК):

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать теоретические методы, применяемые в неабелевой калибровочной теории поля (квантовой хромодинамике, теории Глэшоу-Вайнберга-Салама; базовые разделы неабелевой квантовой калибровочной теории: основные понятия, модели, законы; теоретические и методологические основы построения Стандартной модели. Уметь самостоятельно решать простейшие задачи и проводить оценки для процессов ширин и сечений в квантовой хромодинамике и теории Глэшоу-Вайнберга-Салама,

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		методе векторной доминантности; уметь применять знания стандартной модели для анализа и обработки результатов физических экспериментов. Владеть навыками постановки и решения задач научных исследований в области теории сильных и электрослабых взаимодействий; основными методами научных исследований, навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области теории сильных и слабых взаимодействий

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Стандартная модель 1» реализуется в весеннем семестре 1 курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики элементарных частиц. Для освоения материала необходима предварительная подготовка студентов по дисциплине «Квантовая электродинамика». Курс должен предшествовать выполнению магистерской диссертации т.к. дает магистранту необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения исследований в области физики элементарных частиц в рамках подготовки его квалификационной работы.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Трудоёмкость дисциплины составляет: 3 зачётные единицы, 108 часов.

Форма промежуточной аттестации: 2 семестр – экзамен.

№		Вид деятельности	Семестр
			2
1		Лекции, ч	32
2		Практические занятия, ч	32
3		Лабораторные занятия, ч	-
4		Занятия в контактной форме, ч из них	68
5		аудиторных занятий, ч	64

6		в электронной форме, ч	-
7		консультаций, час.	2
8		промежуточная аттестация, ч	2
9		Самостоятельная работа, час.	40
10		Всего, ч	108

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Стандартная модель 1» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-ом курсе магистратуры физического факультета НГУ в весеннем семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Программа лекций

1. Кварковая модель адронов (2 часа)

Кварковая модель. Мезоны и барионы как составные кварковые состояния. Изотопическая группа $SU(2)$. G-чётность. Гиперзаряд. Унитарная симметрия. Флейворная группа $SU(3)$. Цвет. Невылетание цвета. Число цветов.

2. Основы квантовой хромодинамики (6 часов)

Цветовая группа $SU(N)$, алгебра $su(N)$, присоединенное и фундаментальное представления, соотношение полноты, операторы Казимира, структурные константы, топологическая структура группы $SU(3)$, мера Хаара, интегрирование по группе.

Калибровочная инвариантность, лагранжиан КХД. Вильсоновские линии и петли. Классические уравнения движения. КХД на решетке, Вильсоновское действие. Энергия тяжелой кварк-антикварковой пары в пределе большой константы связи. Линейный рост потенциала, конфайнмент. Закон площадей и закон периметра. Траектории Редже.

Фиксация калибровки, духи Фаддева-Попова. Правила Фейнмана в ковариантной и аксиальной калибровках, калибровке фонового поля. Пропагаторы во внешних полях. Духи и унитарность. Зависимость заряда от масштаба, бета-функция, $\Lambda_{\text{КХД}}$. Эффективное действие в КХД. Асимптотическая свобода. Ренормгруппа. Уравнения Гелл-Мана-Лоу и Каллана-Симанчика.

3. Спонтанное нарушение симметрии (10 часов)

Спонтанное нарушение (неточной) симметрии. Киральная симметрия в КХД. Теорема Голдстоуна. Эффективный потенциал. Пион как псевдоголдстоуновский бозон. Аксиальная аномалия. Киральная теория возмущений. Явление Хиггса.

4. Основы теории Глэшоу-Вайнберга-Салама (14 часов)

Построение лагранжиана теории Глэшоу-Вайнберга-Салама. Взаимодействие калибровочных бозонов. Токи взаимодействия фермионов и калибровочных бозонов. Механизм ГИМ. Эффективная низкоэнергетическая теория. Введение массы калибровочных бозонов и фермионов. Смешивание поколений для лептонов и кварков. Матрица Кабиббо-Кобаяши-Маскава. Соотношения и треугольник унитарности. Инвариант Ярлскога. Глобальная симметрия лагранжиана бозона Хиггса. Фиксация калибровки.

Программа практических занятий

I Кварковая модель адронов (4 часа)

1. Изотопическая инвариантность сильных взаимодействий. Флейворные симметрии $SU(2)$ и $SU(3)$. Изотопическая часть волновой функции π -мезона и протона. Реакция $N+N \rightarrow d\pi$. Метод

- "фабрики Шмушкевича", метод коэффициентов Клебша-Гордана и метод инвариантных амплитуд. Эффективный лагранжиан для реакции $N+N \rightarrow d\pi$.
2. Реакция $\pi+N \rightarrow \pi+N$: изотопическая $SU(2)$ -инвариантная амплитуда. Эффективный лагранжиан. G-четность. Свойства G-четности. Правила отбора по G-четности. Распады $\rho \rightarrow \pi\pi$, $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$. Простейший эффективный лагранжиан π -N-N взаимодействия.
 3. Флейворная симметрия $SU(3)$. Классификация неприводимых представлений группы $SU(3)$. Разложение на неприводимые тензоры в группе $SU(3)$. Октетные и синглетные представления для мезонов. Массовые формулы для октета псевдоскалярных мезонов и для октета барионов. Явление ω - ϕ смешивания, идеальное смешивание. Волновая функция протона в спиновом и флейворном пространстве.
 4. Модель векторной доминантности (МВД): допущения модели, связь констант g_ρ , g_ω и g_ϕ , вид амплитуды $\gamma^* \rightarrow X(\text{hadrons})$ в МВД. Вывод соотношения $g_\rho = g_{\rho\pi\pi}$ в МВД. Нахождение отношения ширины $\Gamma_{\rho \rightarrow \pi\gamma} / \Gamma_{\omega \rightarrow \pi\gamma}$ в МВД.
 5. Кваркони, с-с системы: мезоны η_c , J/Ψ , χ_c и др. Оценка ширины распада $\eta_c \rightarrow \gamma\gamma$. Оценка полной ширины распада $\eta_c \rightarrow \text{hadrons}$. Оценка $\alpha_s(m_c)$. Оценка ширины распада $J/\Psi \rightarrow e^+e^-$. Полная ширина распада J/Ψ в адроны: однофотонный и трехглюонный механизмы.
 6. Радиационные переходы в с-с системах. Магнитодипольные переходы. Оценка ширины распада $J/\Psi \rightarrow \eta_c\gamma$. Угловое распределение фотонов в случае "выстроенного" поляризационного состояния J/Ψ . Электрические дипольные переходы. Угловые распределения фотонов в переходах $\Psi_{2S} \rightarrow \chi_{c,n}\gamma$, $n=0,1,2$. Нерелятивистское приближение для инвариантных амплитуд. Тензорные мезоны. Тензор поляризации. Формула суммирования по поляризациям для тензорных мезонов. Лоренц-инвариантный эффективный лагранжиан перехода $\Psi_{2S} \rightarrow \chi_c 2\gamma$.

II Основы квантовой хромодинамики (10 часов)

7. Алгебра цветовой группы $SU(N)$. Структурные константы группы. Операторы Казимира. Генераторы группы в фундаментальном и присоединенном представлениях. Тождество Якоби. Диаграммы цветовой алгебры. Неприводимые представления группы $SU(N)$. Вывод формулы для размерности неприводимого представления (p,q) группы $SU(3)$.
8. Лагранжиан квантовой хромодинамики (КХД). Нахождение лагранжиана духов Фаддеева-Попова. Лагранжиан духов для кулоновской калибровки. Лагранжиан духов в аксиальной калибровке. Унитарность S-матрицы в физическом пространстве. Соотношение унитарности для амплитуды $q\bar{q} \rightarrow q\bar{q}$.
9. Вывод простейших тождеств Славнова-Тейлора для амплитуд $q\bar{q} \rightarrow g\bar{g}$ и $q\bar{q} \rightarrow s\bar{s}$. Роль духов в выполнении соотношения унитарности.
10. Вильсоновские линии. Теория Янга – Миллса на решетке. Потенциал взаимодействия между тяжелыми кварками.
11. Вычисление β -функции Гелл-Манна--Лоу в КХД в однопетлевом приближении.
12. Перенормировка составных операторов. Аномальные размерности операторов: $\Psi(x)\Psi(x)$: и: $\Psi(x)\gamma^\mu\Psi(x)$: Нулевые аномальные размерности сохраняющихся токов.
13. Перенормировка массы кварков в КХД: нахождение $m_R(\mu)$.

III Аномалии и симметрии. Спонтанное нарушение симметрии (6 часов)

14. Аномалия аксиального тока в КХД. Связь квадрата массы π -мезона и суммы масс u- и d-кварка, константа f_π .
15. Вычисление ширины $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$.
16. Киральный лагранжиан. Соотношения между массами мезонов, барионов и кварков.
17. Явление Хиггса.

IV Феноменология (12 часов)

18. Вычисление ширины распадов W, Z, сечения $e^+e^- \rightarrow$ адроны с учетом Z бозона. Оценка числа легких нейтрино.

19. Нахождение углов треугольника унитарности, параметризация Вольфенштейна матрицы СКМ, доказательство свойств инварианта Ярлскога.
20. Вычисление ширины распадов μ , τ , π , η .
21. Вычисление петлевых поправок к параметру ρ , определяющему относительную величину заряженных и нейтральных токов при низкой энергии. Вычисление ρ для модели с произвольным числом полей Хиггса в любых представлениях.
22. Вычисление ширины основных распадов бозона Хиггса.
23. Вычисление сечений основных процессов рождения бозона Хиггса.
24. Вычисление сечения рождения пары W бозонов в $e^+ e^-$ столкновениях на пороге.
25. Определение поляризации t кварка по распределениям продуктов распада.

Самостоятельная работа студентов (40 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям (решение задач, разбор теоретических аспектов)	22
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. М. Пескин, Д. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. Москва-Ижевск, 2001г., ISBN 5-93972-083-8 (10 экз.)
2. Н. Ф. Нелипа, Физика элементарных частиц, М. Высш. Шк., 1977.(6 экз.)
3. К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер, Квантовая теория поля, М., т. 1, 2, 1984. Т1-448с (3 экз.), Т2-400с (3 экз.)
4. С. Вайнберг, Квантовая теория поля, т.1-2, М. ФИЗМАТЛИТ 2003., Т.1: Общая теория 2003, 648 с., ISBN 5-9221-0403-9 (4 экз.), Т.2: Современные приложения. 2003, 527 с. : ил. ISBN 5-9221-0404-7 (4 экз.)
5. Окунь Л. Б. Слабое взаимодействие элементарных частиц, ФИЗМАТЛИТ, 1963. (9 экз.)
6. Окунь Л. Б. Лептоны и кварки, УРСС, 1990, ISBN 5-02-014027-9 (12 экз.)
7. В. М. Емельянов, Стандартная модель и ее расширения, ФИЗМАТЛИТ 2007., ISBN 978-5-9221-0830-0 (4 экз.)

6 Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

1. Б.Л. Иоффе, Л.Н. Липатов, В.С. Фадин, Квантовая хромодинамика: пертурбативные и непертурбативные аспекты. Т.1-2, М.: ЦСП и М, 2012.
2. Yu. Makeenko, Methods of Contemporary Gauge Theory, Cambridge University Press, 2002.
3. E. Shuryak, The QCD Vacuum, Hadrons and Superdense Matter, World Scientific Lecture Notes in Physics Vol. 71, 2004.
4. G. Dissertori, I. G. Knowles, M. Schmelling, Quantum Chromodynamics, Clarendon Press 2003.
5. E. Levin, Yu. V. Kovchegov, Quantum Chromodynamics at High Energy, Cambridge University Press, 2012.
6. M. Srednicki, Quantum Field Theory, Cambridge university press, 2019.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет

-Грозин А. Г., Lectures on QED and QCD, <https://arxiv.org/abs/hep-ph/0508242>, 2005

-Видеолекции по Теории сильных взаимодействий профессора, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Фаина В.С. <https://www.youtube.com/playlist?list=PLPFUq1zn8x37vo3uSPB2t7gPTLedMr3fa>

-Видеолекции по Теории слабых взаимодействий профессора, д.ф.-м.н., Черняка В.Л. <https://www.youtube.com/playlist?list=PLPFUq1zn8x371-8Xz5TqRtnnV9R8WRak7>

-Видеосеминары по Теории сильных взаимодействий доцента, к.ф.-м.н. Резниченко А.В. <https://www.youtube.com/playlist?list=PLPFUq1zn8x36tEait-pYyboIZRFgOY0Gm>

- Ресурсы на веб-странице кафедры физики элементарных частиц: <https://www.snd.inp.nsk.su/hepdiv/116.shtml>

- Веб-страница TreeofKnowledge (автор: профессор РАН, д.ф.-м.н. Ли Р.Н.) <http://www.inp.nsk.su/students/theor/TreeofKnowledge/index.TreeOfKnowledge.html>

- Конспект семинаров в электронном виде (автор конспекта: профессор РАН, д.ф.-м.н. Р.Н. Ли): конспект доступен для студентов кафедры физики элементарных частиц на сайте (под паролем) <https://www.snd.inp.nsk.su/hepdiv/>

- Конспект лекций профессора, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Фаина В.С. в электронном виде. Конспект доступен для студентов кафедры физики элементарных частиц на сайте (под паролем) <https://www.snd.inp.nsk.su/hepdiv/>

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2 Информационные справочные системы

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проверки решения задач студентами.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня. Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать теоретические методы, применяемые в неабелевой калибровочной теории поля (квантовой хромодинамике, теории Глэшоу-Вайнберга-Салама; базовые разделы неабелевой квантовой калибровочной теории: основные понятия, модели, законы; теоретические и методологические основы построения Стандартной модели.	Решение задач, экзамен.
ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных	Уметь самостоятельно решать простейшие задачи и проводить оценки для процессов ширины и сечений в квантовой хромодинамике и теории	Решение задач, экзамен.

исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Глэшоу-Вайнберга-Салама, методе векторной доминантности; уметь применять знания стандартной модели для анализа и обработки результатов физических экспериментов. Владеть навыками постановки и решения задач научных исследований в области теории сильных и электрослабых взаимодействий; основными методами научных исследований, навыками использования теоретических основ базовых разделов общей и теоретической физики при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области теории сильных и слабых взаимодействий	
--	---	--

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Стандартная модель 1».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<u>Сдача заданий:</u> выполнено и сдано не менее 90% задач в течение семестра <u>Экзамен:</u> - дан развернутый ответ на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена (или средняя оценка за две потоковые контрольные работы) не ниже «хорошо», – точность и корректность применения терминов и понятий; - умение делать выводы и обобщения, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. В ответах на вопросы обучающийся мог допустить не принципиальные неточности.	<i>Отлично</i>
<u>Сдача заданий:</u> выполнено и сдано не менее 80% задач в течение семестра <u>Экзамен:</u> - дан правильный ответ на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена (или средняя оценка за две потоковые контрольные работы) не ниже «удовлетворительно», – наличие правильных ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. В ответах на вопросы обучающийся мог допустить незначительные ошибки.	<i>Хорошо</i>
<u>Сдача заданий:</u> выполнено и сдано не менее 70% задач в течение семестра <u>Экзамен:</u>	<i>Удовлетворительно</i>

- дан правильный ответ на один вопрос билета и оценка на письменной части экзамена (или хотя бы одна из двух оценок за потоковые контрольные работы) не ниже «удовлетворительно», – наличие правильных ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.	
<u>Сдача заданий:</u> сдано менее 60% задач в течение семестра <u>Экзамен:</u> - не даны правильные ответы на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена «неудовлетворительно», – не отвечает на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.	<i>Неудовлетворительно</i>

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примеры заданий для самостоятельного решения:

1. Рассмотреть распады $\eta, \rho^0, \omega, \phi, f_2$ - мезонов на $\pi^+\pi^-, \pi^0\pi^0, \pi^0\gamma, \gamma\gamma, \pi^+\pi^-\pi^0, \pi^0\pi^0\pi^0$.

а) Обосновать следующую таблицу распадов,

частица	$I^G J^{PC}$	$\pi^+\pi^-$	$\pi^0\pi^0$	$\pi^0\gamma$	$\gamma\gamma$	$\pi^+\pi^-\pi^0$	$\pi^0\pi^0\pi^0$
η	$0^+ 0^{--}$	CP	CP	J	+	G	G
ρ	$1^+ 1^{--}$	+	J	+	J	G	C
ω	$1^+ 1^{--}$	G	J	+	J	+	C
ϕ	$1^+ 1^{--}$	G	J	+	J	+	C
f_2	$0^+ 2^{++}$	+	+	C	+	G	G

в которой указаны запрещенные (символом сохраняющейся величины J, P, C, T, CP, G и проч.) и разрешенные (+) распады.

б) Для разрешенных двухчастичных распадов выписать релятивистски инвариантные матричные элементы и определить из сравнения с экспериментальными данными численные значения безразмерных констант распадов. Константы распадов делать безразмерными, пользуясь массой распадающейся частицы.

2. Найти SU(3)- соотношение между амплитудами распадов $\eta \rightarrow \gamma\gamma$, $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ и сравнить его с экспериментальными данными. Учесть η - η' - смешивание, угол которого определить из массовых формул.

3. Написать инвариантные амплитуды радиационных распадов нонета векторных мезонов $V \rightarrow \rho\gamma$, вычислить вероятности распадов и сравнить полученные результаты с экспериментальными значениями. Проверить предсказания векторной доминантности, сравнивая вероятности процессов $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ и $\rho \rightarrow \pi\gamma$.

4. Найти форму спектра фотонов в процессах $e^+e^- \rightarrow \phi \rightarrow \gamma f_0 \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0$, $e^+e^- \rightarrow \phi \rightarrow \gamma a_0 \rightarrow \gamma \pi^0 \eta$ и сравнить с экспериментальными данными ВЭПП-2М. Матричные элементы процессов $\phi \rightarrow \gamma f_0 \rightarrow \gamma \pi^0 \pi^0$, $\phi \rightarrow \gamma a_0 \rightarrow \gamma \pi^0 \eta$ выписать, пользуясь релятивистской и калибровочной инвариантностью. Оценить полные сечения указанных процессов.

5. Вычислить, как зависит от масштаба масса кварка.

6. Вычислить асимптотики элементарных процессов КХД при $s \gg |t| \gg \Lambda_{\text{КХД}}^2$.

6. Вычислить сечение рождения пары фермионов в процессе $e^+e^- \rightarrow f\bar{f}$ в пике Z бозона. Численно оценить во сколько раз сечение рождения фермионной пары в пике Z больше сечения через фотон.

7. Определить слабый изоспин и его проекцию для t кварка по известной ширине распада Z бозона в $b\bar{b}$ $\Gamma_{Z \rightarrow b\bar{b}} = 376 \text{ МэВ}$.
8. Вычислить асимметрию вперед - назад для сечения рождения пары лептонов $e^+e^- \rightarrow l^+l^-$, где θ - угол между направлениями движения электрона и лептона.
9. Вычислить ширину распада $h \rightarrow \gamma\gamma$.
10. Вычислить ширину распада $\tau^- \rightarrow \rho^- \nu_\tau$.

Билеты на экзамен

Билет 1

1. Оценить ширины распадов $J/\Psi \rightarrow \eta_c \gamma$, $J/\Psi \rightarrow e^+e^-$, $\eta_c \rightarrow \gamma\gamma$, $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, $\eta_c \rightarrow \text{hadrons}$.
2. Построить пропагатор глюона в точечной калибровке $A_x=0$.
3. Продемонстрировать аксиальную аномалию в КЭД и КХД.
4. Объяснить, что такое custodial symmetry. Как она экспериментально проявляется.
5. Вычислить ширину распада $\tau^- \rightarrow K^{*-} \nu_\tau$.

Билет 2

1. Найти отношение ширин $\Gamma_{\rho \rightarrow \pi\gamma} / \Gamma_{\omega \rightarrow \pi\gamma}$ в МВД.
2. Получить правила Фейнмана в фоновой калибровке.
3. Написать и решить уравнения Каллана – Симанчика для массового оператора.
4. Объяснить явление спонтанного нарушения симметрии, как оно проявляется в теории сильных и слабых взаимодействий.
5. Вычислить ширину распада $\tau \rightarrow e \nu_\tau \nu_e \text{-bar}$.

Билет 3

1. Объяснить ω - ϕ смешивание.
2. Получить правила Фейнмана в Лоренцевой калибровке.
3. Написать и решить уравнения Каллана – Симанчика для пропагатора кварка.
4. Показать, что нейтральные токи инвариантны при переходе от массового базиса к базису взаимодействия, а заряженные токи требуют введения матрицы смешивания.
5. Вычислить полную ширину и время жизни мюона.

Билет 4

1. Объяснить, что такое C, G-сопряжение, G-четность. Привести примеры правил отбора.
2. Получить правила Фейнмана в аксиальной калибровке.
3. Написать и решить уравнения Каллана – Симанчика для потенциала.
4. Найти углы треугольника унитарности, описать свойства инварианта Ярлскога.
5. Оценить число поколений легких нейтрино из ширин распадов Z .

Билет 5

1. Объяснить кварковую модель адронов.
2. Продемонстрировать калибровочную инвариантность лагранжиана КХД, вильсоновской петли, $\bar{U}(x)[x,y]U(y)$, где U – кварковое поле.
3. Найти аномальную размерность для массового оператора.
4. Вычислить ширину распада π^+ .
5. Оценить вклад поля Хиггса в энергию вакуума и размер горизонта для вселенной с такой энергией вакуума.

Билет 6

1. Получить высокоэнергетические асимптотики элементарных процессов в КХД.
2. Вычислить оператор Казимира для присоединенного и фундаментального представлений.
3. Найти аномальную размерность для оператора тока.
4. Вычислить ширину распада $h \rightarrow gg$.

5. Объяснить, почему пион не распадается при $m_\mu = m_e = 0$.

Билет 7

1. Построить инвариантную меру на $SU(2)$.
2. Продемонстрировать киральную и изоспиновую симметрии лагранжиана КХД, нарушающие симметрию члены.
3. Привести аргументы в пользу спонтанного нарушения киральной симметрии. Связать массы пи-мезона и кварков.
4. Вычислить ширину β -распада нейтрона.
5. Найти факторы Сахарова-Зоммерфельда для рождения пары $t\bar{t}$ в октетном и синглетном состояниях в S волне.

Билет 8

1. Построить модель волновой функции протона.
2. Вычислить $\int_{SU(3)} dU U^i_j$, $\int_{SU(3)} dU U^i_j U^k_l$, $\int_{SU(3)} dU U^i_j (U^k_l)^+$, $\int_{SU(3)} dU U^i_j U^k_l U^m_n$.
3. Построить эффективное действие для $O(n)$ симметричной скалярной Φ^4 теории со спонтанным нарушением.
4. Доказать теорему Голдстоуна в классическом и квантовом случаях.
5. Вычислить сечение рождения пары W бозонов в e^+e^- аннигиляции при $s \gg m_W^2$.

Билет 9

1. Получить закон периметра, потенциал в пределе слабой связи для тяжелых кварков.
2. Построить эффективное действие КХД, получить зависимость заряда от масштаба. При каком числе ароматов теория перестанет быть асимптотически свободной?
3. Найти изменение фотонного поля при калибровочных преобразованиях.
4. Вычислить сечение рождения $gg \rightarrow h$.
5. Оценить полную ширину распада τ в полулептонные моды и бранчинги лептонных мод.

Билет 10

1. Продемонстрировать линейный рост потенциала тяжелых кварков в пределе сильной связи.
2. Объяснить, что такое закон площадей и как он связан с траекториями Редже.
3. Описать основные каналы рождения бозона Хиггса в адронных и лептонных столкновениях.
4. Вычислить сечение процесса $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$ на пороге.
5. Выразить верхнюю вершину треугольника унитарности через параметры Вольфенштейна.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.