

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



УТВЕРЖДАЮ
 Декан ФФ
 академик РАН А. Е. Бондарь
 « 07 » 10 2020 г.

Рабочая программа дисциплины
ТЕОРИЯ СИЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Направление подготовки: 03.04.02 Физика, Курс 1, семестр 2
 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			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
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 - в интерактивных формах 32 часа Компетенции : ПК-1, ПК-2										

Разработчик, д. физ.-мат. наук

А. В. Грабовский

Заведующий кафедрой ФЭЧ ФФ НГУ
 д.ф.-м.н.

И.Б.Логашенко

Руководитель программы
 д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск 2020

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
Программа лекций	6
Программа практических занятий	7
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

Аннотация

к рабочей программе дисциплины «Теория сильных взаимодействий»

Направление: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика

Программа курса «Теория сильных взаимодействий» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню магистратуры по направлению подготовки **03.04.02 Физика, «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой физики элементарных частиц в качестве дисциплины по выбору. Дисциплина изучается студентами первого курса магистратуры физического факультета.

Цель курса – знакомство с современным состоянием теории сильных взаимодействий элементарных частиц и методами теоретического анализа процессов сильного взаимодействия, знание основ квантовой хромодинамики, ее роли в современной физике элементарных частиц, усвоение приемов и способов применения разработанных в ней приближенных методов, формирование общекультурных и профессиональных навыков физика-исследователя.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

ПК-1 способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта

ПК-2 способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

-теоретические методы, применяемые в неабелевой калибровочной теории поля (квантовой хромодинамике), концепции калибровочной симметрии, перенормируемости, асимптотической свободы;

-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, методе векторной доминантности;

-уметь применять знания квантовой хромодинамики для анализа и обработки результатов физических экспериментов.

Владеть:

-навыками постановки и решения задач научных исследований в области теории сильных взаимодействий.

Курс рассчитан на один семестр (2-й). Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и ее контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: решение задач из задания для самостоятельного решения

Промежуточная аттестация: экзамен

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **108** академических часа / **3** зачетных единицы.

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

Основными целями освоения дисциплины «Теория сильных взаимодействий» является знакомство с современным состоянием теории сильных взаимодействий элементарных частиц и методами теоретического анализа процессов сильного взаимодействия, знание основ квантовой хромодинамики, ее роли в современной физике элементарных частиц, усвоение приемов и способов применения разработанных в ней 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 экспериментальных процессов при высоких энергиях с помощью уравнений эволюции КХД.
- Понимание роли непертурбативных эффектов в КХД.

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. 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 сильных взаимодействий.

Дисциплина «Теория сильных взаимодействий» нацелена на формирование у обучающегося профессиональных компетенций (ПК):

ПК-1 - способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта:

ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- теоретические методы, применяемые в неабелевой калибровочной теории поля (квантовой хромодинамике), концепции калибровочной симметрии, перенормируемости, асимптотической свободы, современную литературу по тематике курса «Теория сильных взаимодействий» (ПК 1.1).
- базовые разделы неабелевой квантовой калибровочной теории: основные понятия, модели, законы; теоретические и методологические основы построения Стандартной модели. (ПК 2.1).

Уметь:

- самостоятельно решать простейшие задачи и проводить оценки для процессов ширин и сечений в квантовой хромодинамике, методе векторной доминантности (ПК 1.2).
- уметь применять знания квантовой хромодинамики для анализа и обработки результатов физических экспериментов (ПК 2.2).

Владеть:

- навыками постановки и решения задач научных исследований в области теории сильных взаимодействий (ПК 1.3).

- 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 взаимодействий (ПК 2.3).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теория сильных взаимодействий» 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.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференциальный зачет	Экзамен
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 - в интерактивных формах 32 часа Компетенции : ПК-1,ПК-2										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и ее контроль преподавателем с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: решение задач из задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 22 часа;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 68 часов. Работа с обучающимися в интерактивных формах (практические занятия) составляет 32 часа.

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

Дисциплина «Теория сильных взаимодействий» 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.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Всего	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
				Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции и (кол-во часов)	Практические занятия (кол-во часов)		
1	Кварковая модель адронов	1	10	2	4	4	
2	Основы квантовой хромодинамики	2-4	18	6	6	6	
3	Перенормировки и симметрии. Асимптотическая свобода.	5-9	26	10	10	6	
4	Феноменология	10-16	32	14	12	6	
9	Групповая консультация		2				2
11	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
	Экзамен		2				2
	Всего		108	32	32	22	22

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 $\mathfrak{su}(N)$, 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.

3. Перенормировки и симметрии. Асимптотическая свобода (10 часов)

Аномалия следа. Размерная трансмутация, зависимость заряда от масштаба, бета-функция, $\Lambda_{\text{КХД}}$.
 Эффективное действие в КХД. Асимптотическая свобода.
 Ренормгруппа. Уравнения Гелл-Мана-Лоу и Каллана-Симанчика. Вильсоновский подход к перенормировке.
 Спонтанное нарушение (неточной) симметрии. Киральная симметрия в КХД. Теорема Голдстоуна. Эффективный потенциал. Пион как псевдоголдстоуновский бозон.
 Аксиальная аномалия.

4. Феноменология (14 часов)

Глубоконеупругое рассеяние лептонов на адронах. Форм-факторы адронов. Структурные функции, Бёркеновский скейлинг.
 Операторное разложение. Уравнения ренормгруппы для моментов структурных функций. Вильсоновские коэффициенты.
 Коллинеарная факторизация. Партоновая модель. Функции распределения партонов.
 Уравнения Докшицера-Грибова-Липатова-Альтарелли-Паризи (ДГЛАП). Преобразование Меллина и решение уравнения ДГЛАП.
 Функции фрагментации. Инклюзивное рождение адронов. Рождение струй.
 Электрон-позитронная аннигиляция в адроны. Дисперсионные соотношения. Правила сумм ИТЭФ. Глюонный и кварковый конденсаты.

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 $g_\rho = g_\omega \pi$ в МВД. Нахождение отношения ширины $\Gamma_{\rho \rightarrow \pi\gamma} / \Gamma_{\omega \rightarrow \pi\gamma}$ в МВД.
5. Кварконии, c - c 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 c - c 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 (6 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 $qq \rightarrow qq$.
9. Вывод простейших тождеств Славнова–Тейлора для амплитуд $qq \rightarrow gg$ и $qq \rightarrow cc$. Роль духов в выполнении соотношения унитарности.
10. Вильсоновские линии. Теория Янга – Миллса на решетке. Потенциал взаимодействия между тяжелыми кварками.

III Перенормировки и симметрии. Асимптотическая свобода (10 часов)

11. Вычисление β -функции Гелл-Манна--Лоу в КХД в однопетлевом приближении.
12. Аномалия аксиального тока в КХД. Связь квадрата массы π -мезона и суммы масс u - и d -кварка, константа f_π . Гипотеза частичного сохранения аксиального тока (ЧСАТ).
13. Вычисление ширины $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$.
14. Киральный лагранжиан. Соотношения между массами мезонов.
15. Перенормировка составных операторов. Аномальные размерности операторов: $\Psi(x)\Psi(x)$; $\Psi(x)\gamma^\mu\Psi(x)$; Нулевые аномальные размерности сохраняющихся токов.
16. Перенормировка массы кварков в КХД: нахождение $m_R(\mu)$.
17. Операторное смешивание на примере теории $\lambda\phi^4$. Матрица аномальных размерностей.

IV Феноменология (12 часов)

18. Глубоконеупругое рассеяние. Уравнение Докшитцера-Грибова-Липатова-Альтарелли-Паризи (ДГЛАП).
19. Вычисление $dn_g^s(x, q_\perp)$ (число глюонов в глюоне).
20. Преобразование Меллина и его свойства. Моменты (меллиновские образы) ядер уравнения ДГЛАП: явные выражения и аналитические свойства. Синглетные и несинглетные моменты партонных плотностей.
21. Решение уравнения ДГЛАП для несинглетных и синглетных моментов.
22. Операторы твиста два. Несинглетные и синглетные операторы твиста два в операторном разложении глубоконеупругого рассеяния. Определения операторов твиста два в КХД. Функции Грина синглетных операторов.
23. Операторное смешивание глюонного и фермионного операторов. Диаграммное представление. Вычисление недиагонального матричного элемента $\gamma_{f,g}$ в матрице аномальных размерностей.
24. Связь аномальных размерностей операторов твиста два и меллиновских образов ядер уравнения ДГЛАП.
25. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны. Вычисление поправки порядка α_s к $R = \sigma_{e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}} / \sigma_{e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-}$ в размерной регуляризации $D=4+2\epsilon$. Вклад реальных поправок за счет излучения глюона. Вклад виртуальных поправок. Сокращение расходимостей.

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.

5.1. Основная литература

1. М. Пескин, Д. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. Москва-Ижевск, 2001г.
2. Н. Ф. Нелипа, Физика элементарных частиц, М. Высш. Шк., 1977.
3. К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер, Квантовая теория поля, М., т. 1, 2, 1984.
4. С. Вайнберг, Квантовая теория поля, т.1-2, М. ФИЗМАТЛИТ 2003.

5.2. Дополнительная литература

1. В.Б. Берестецкий, Е.М.Лифшиц, Л.П. Питаевский, Релятивистская квантовая теория. ч.2. Наука, 1971.
2. В. М. Емельянов, Стандартная модель и ее расширения, ФИЗМАТЛИТ 2007.

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>

-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://wwwsnd.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://wwwsnd.inp.nsk.su/hepdiv/>

- Конспект лекций профессора, д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Фадына В.С. в электронном виде. Конспект
доступен для студентов кафедры физики элементарных частиц на сайте (под паролем)
<https://wwwsnd.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

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 заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы 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 компетенций ПК-1 и ПК-2.

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.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Теория сильных взаимодействий».

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3 ПК 2.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.
-----------------------------------	------------------	--	--	--	---

Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примеры заданий для самостоятельного решения:

1. Рассмотреть распады $\eta, \rho, \omega, \phi, f_2$ - 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^{GJPC}	$\pi^+ \pi^-$	$\pi^0 \pi^0$	$\pi^0 \gamma$	$\gamma\gamma$	$\pi^+ \pi^- \pi^0$	$\pi^0 \pi^0 \pi^0$
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 $\eta - \eta'$ - смешивание, угол которого определить из массовых формул.

3. Написать инвариантные амплитуды радиационных распадов нонета векторных мезонов $V \rightarrow P\gamma$, 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. В однопетлевом приближении вычислить аномальную размерность оператора твиста два:

$$O^{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_n} \psi = i^{n-1} S: \bar{\psi}(x) t_f^a \gamma^{\mu_1} D^{\mu_2} D^{\mu_3} \dots D^{\mu_n} \psi(x);$$

где S - оператор симметризации и вычитания следов по индексам $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$, t_f^a - генератор группы ароматов в фундаментальном представлении.

6. Используя уравнения ДГЛАП, определить поведение моментов партонных распределений при $x \rightarrow 0$.

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 аномалию следа и аксиальную аномалию в КЭД и КХД.
4. Написать и решить уравнения Каллана – Симанчика для оператора твиста 2.
- 5.

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, что такое партонная модель, структурные функции, функции фрагментации, Бьеркеновский скейлинг.

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. Получить дважды логарифмическую асимптотику глюонной функции распределения.

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. Решить уравнения ДГЛАП.

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. Получить уравнения ДГЛАП с помощью фоковского разложения волновой функции адрона.

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. Получить уравнения ДГЛАП как уравнения ренормгруппы.

Билет 7

1. Объяснить, что такое быстрота, псевдобыстрота, мягкие, жесткие, полужесткие, дифракционные процессы, центральная, одинарная, двойная дифракция, minimum bias events, underlying event, упругое, неупругое (недифракционное) рассеяние. Написать, каковы характерные величины для различных вкладов в полное сечение на LHC.

2. Построить инвариантную меру на $SU(2)$.
3. Найти аномальные размерности для операторов твиста 2.
4. Продемонстрировать киральную и изоспиновую симметрии лагранжиана КХД, нарушающие симметрию члены. Привести аргументы в пользу спонтанного нарушения киральной симметрии. Связать массы пи-мезона и кварков.

Билет 8

1. Построить волновую функцию протона.
2. Вычислить $\int_{SU(3)} dUU^i_j$, $\int_{SU(3)} dUU^i_j U^k_l$, $\int_{SU(3)} dUU^i_j (U^k_l)^+$, $\int_{SU(3)} dUU^i_j U^k_l U^m_n$.
3. Построить эффективное действие для $O(n)$ симметричной скалярной Φ^4 теории со спонтанным нарушением.
4. Доказать теорему Голдстоуна в классическом и квантовом случаях.

Билет 9

1. Написать сечение для процесса Дрелла-Яна.
2. Получить закон периметра, потенциал в пределе слабой связи для тяжелых кварков.
3. Построить эффективное действие КХД, получить зависимость заряда от масштаба. При каком числе ароматов теория перестанет быть асимптотически свободной?
4. Объяснить, что такое существенные, несущественные и маргинальные операторы, почему мы рассматриваем перенормируемые теории.

Билет 10

1. Объяснить правила сумм на примере электрон-позитронной аннигиляции в адроны.
2. Продемонстрировать линейный рост потенциала тяжелых кварков. Объяснить, что такое закон площадей и как он связан с траекториями Редже.
3. Продемонстрировать аксиальную аномалию в КЭД и КХД.
4. Вычислить, как зависит от масштаба масса кварка.

Билет 11

1. Написать формулы факторизации для адрон-адронных столкновений, инклюзивного рождения адронов.
2. Вычислить число трехструйных событий в электрон-позитронной аннигиляции в адроны по Jade алгоритму, объяснить его недостатки.
3. Описать k_t , анти- k_t , cone алгоритмы, объяснить, чем отличаются алгоритмы в e^+e^- и pp столкновениях.
4. Объяснить правила сумм на примере электрон-позитронной аннигиляции в адроны.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p><i>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</i> <i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение</i> <i>высшего образования</i> <i>«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»</i> <i>(Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p><i>Физический факультет</i></p>
<p>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</p> <p>1. 2. 3. 4.</p> <p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

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.

Лист актуализации фонда оценочных средств
по дисциплине «Теория сильных взаимодействий»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного

