

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ



УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора
филиала МГУ в г. Дубне
/ Э.Э. Боос /
« 14 » _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Физика фундаментальных взаимодействий

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Физика элементарных частиц

Форма обучения: Очная форма обучения

Дубна 2022 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки программы магистратуры 03.04.02 «Физика».

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. Доктор физ.-мат. наук Теряев Олег Валерианович, профессор физического факультета МГУ по совместительству

Руководитель магистерской программы:

Доктор физ.-мат. наук, профессор академик РАН В.А. Матвеев, заведующий кафедрой физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Физика фундаментальных взаимодействий»

В курсе изучаются современные представления о фундаментальной теории сильных взаимодействий, принципы строения адронов и их взаимодействий при высоких энергиях, обучающиеся знакомятся с основными экспериментальными фактами, лежащими в основе создания и развития квантовой хромодинамики.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Формат обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Физика фундаментальных взаимодействий» реализуется на 2-ом курсе в 3-ем семестре магистратуры и входит в состав профессионального блока вариативной части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
МПК-1 Способен решать практические задачи профессиональной деятельности в области физики элементарных частиц на основе фундаментальных знаний	ИМПК-1.1 знает основные разделы физики элементарных частиц: сильные, электромагнитные, слабые взаимодействия, симметрии в физике частиц	З-1 Знать: основные теории фундаментальных взаимодействий, их особенности и границы применимости. У-1 Уметь: применять основные теории и уравнения для описания фундаментальных взаимодействий в процессах физики элементарных частиц. В-1 Владеть: разделами высшей математики, необходимыми для описания фундаментальных взаимодействий.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. В поисках «элементарных» частиц.

Лептоны, фотоны, адроны, изотопическая инвариантность, силы взаимодействия.

Тема 2. Релятивистская квантовая механика.

Уравнение Клейна-Гордона. Уравнение Дирака, античастицы. Алгебра гамма-матриц, решения свободного уравнения Дирака, их смысл, угловой момент и спин электрона. Фермионы с нулевой массой. Уравнение Шредингера-Паули, магнитный момент электрона.

Тема 3. Основы квантовой электродинамики.

Лагранжиан, локальная калибровочная симметрия и электродинамика. Уравнения Максвелла для потенциала. Калибровка. Теория возмущений. Диаграммы Фейнмана. Сечение рассеяния. Рассеяние электрона на мюоне, пропагатор фотона. Комптоновское рассеяние. Пропагатор электрона.

Тема 4. Слабые взаимодействия.

Бета-распад. Теория Ферми. Нарушение четности, киральность. CP-четность. Время жизни мюона. Распад каонов. Угол Каббиво. Смешивание поколений, матрица смешивания Каббиво-Кабаяши-Маскава. Нарушение CP-четности. Нейтральные слабые токи. Глубоко неупругое рассеяние нейтрино и антинейтрино на нуклоне.

Тема 5. Стандартная модель электрослабого взаимодействия.

Объединение электромагнитных и слабых взаимодействий на основе $SU(2) \times U(1)$ симметрии. Угол Вайнберга, нейтральные слабые токи, W- и Z-бозоны. Неренормируемость теории с массивными бозонами. Неабелева калибровочная симметрия. Самодействие бозонов. Спонтанное нарушение симметрии. Появление массы. Голдстоуновские бозоны. Механизм Хиггса. Модель Салама-Вайнберга. Выбор поля Хиггса. Массы W- и Z-бозонов. Взаимодействие бозонов с хиггсом. Массы фермионов. Взаимодействия фермионов с хиггсом. Понятие о перенормируемости теории. Лептон-кварковая аналогия. Экспериментальный статус теории. Физика на Коллайдерах. Физика ароматов. Физика нейтрино. Смешивание. Физика частиц, астрофизика и космология.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятельная работа студентов
		Общая трудоемкость	в том числе ауд.занятий			Учебно-практические занятия	
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров		
Физика фундаментальных взаимодействий	2	72	36	18	18	36	

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Физика фундаментальных взаимодействий» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно,

закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ тем ы		Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Само-ст-о-я-тель-ная ра-бо-та	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Семинары	Учебно-практические занятия (лабораторные или практические занятия)			
1	В поисках «элементарных» частиц	12	3	3		6		
2	Релятивистская квантовая механика	14	4	4		6		
3	Основы квантовой электродинамики	14	4	4		6		
4	Слабые взаимодействия	15	4	4		7		
5	Стандартная модель электрослабого взаимодействия	13	3	3		7		
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет	
ИТОГО:		72	18	18		36		

ДЗ- домашнее задание, Оп- опрос, КР- контрольная работа, Т- тестирование, Реф - реферат

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Физика фундаментальных взаимодействий» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается ширина используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика фундаментальных взаимодействий» проводится в третьем семестре в форме зачета в виде письменной работы.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к тестам
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
ЗНАТЬ: основные теории фундаментальных взаимодействий, их особенности и границы применимости ИМПК-1.1	Отсутствие знаний основных теорий фундаментальных взаимодействий, их особенностей и границ применимости	В целом успешные, но не систематические знания основных теорий фундаментальных взаимодействий, их особенностей и границ	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных теорий фундаментальных взаимодействий, их особенностей и	Успешные и систематические знания основных теорий фундаментальных взаимодействий, их особенностей и границ применимости

		применимости	границ применимости	
УМЕТЬ: применять основные теории и уравнения для описания фундаментальных взаимодействий в процессах физики элементарных частиц ИМПК-1.1	Отсутствие умения применять основные теории и уравнения для описания фундаментальных взаимодействий в процессах физики элементарных частиц	В целом успешное, но не систематическое умение применять основные теории и уравнения для описания фундаментальных взаимодействий в процессах физики элементарных частиц	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять основные теории и уравнения для описания фундаментальных взаимодействий в процессах физики элементарных частиц	Успешное и систематическое умение применять основные теории и уравнения для описания фундаментальных взаимодействий в процессах физики элементарных частиц
ВЛАДЕТЬ: разделами высшей математики, необходимыми для описания фундаментальных взаимодействий ИМПК-1.1	Отсутствие/фрагментарное владение разделами высшей математики, необходимыми для описания фундаментальных взаимодействий	В целом успешное, но не систематическое владение разделами высшей математики, необходимыми для описания фундаментальных взаимодействий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение разделами высшей математики, необходимыми для описания фундаментальных взаимодействий	Успешное и систематическое владение разделами высшей математики, необходимыми для описания фундаментальных взаимодействий

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Пример:

Вопросы по теории:

1. Асимптотическая свобода.
2. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны в КХД.
3. КХД-факторизация.
4. Эволюция партонных распределений.
5. Виды партонных распределений.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Зачет проводится в форме письменной работы.

Вопросы к зачету:

1. КХД-ФАКТОРИЗАЦИЯ: Большие и малые расстояния. Факторизационная формула в борновском приближении. Моменты. Понятие твиста. Калибровочная инвариантность. Физические и нефизические глюоны.
2. ЭВОЛЮЦИЯ ПАРТОННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ: Инфракрасные и коллинеарные расходимости партонных сечений и их факторизация. Понятие об эволюционных уравнениях. Эволюция моментов.

3. ВИДЫ ПАРТОННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ: Матрица плотности свободного и связанного кварка. Спиновые распределения. Эксклюзивные жесткие процессы, амплитуды распределения и обобщенные партонные распределения.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература

6. Н.Н. Боголюбов и Д.В. Ширков, Квантовые поля, М: Наука, 1993, 2005.
7. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика: т. IV. Квантовая Электродинамика; М: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
8. Б.Л. Иоффе, Л.Н. Липатов, В.А. Хозе, Глубококонепругие процессы, М: Наука, 1983

Дополнительная литература

1. М. Пескин, Д. Шредер, Введение в квантовую теорию поля, РХД, 2001 г.
2. И.В. Андреев, Хромодинамика и жесткие процессы при высоких Энергиях, М: Наука, 1981.
3. М.Б. Волошин, К.А. Тер-Мартirosян, Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц, М: Энергоатомиздат 1981.

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Astra Linux (<https://astralinux.ru/>) или аналог, с офисным пакетом, с пакетами разработчика.

Перечень интернет ресурсов:

1. Сайт кафедры <https://msu-dubna.ru/her>

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика», курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.