

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 /
« 09 » 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Основы физики элементарных частиц

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 с.н.с. Строковский Евгений Афанасьевич, 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 «Основы физики элементарных частиц»

Курс посвящен: формированию системы основных представлений о физике элементарных частиц; практике работы с базовыми понятиями физики элементарных частиц, квантовой теории поля, квантовой хромодинамики, теории электрослабого взаимодействия; обсуждению классических экспериментов по физике элементарных частиц; обсуждению связи космологии и физики элементарных частиц.

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 «Основы физики элементарных частиц» реализуется на 1-ом курсе в 1-ом и во 2-ом семестрах магистратуры и входит в состав 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 разделы и направления в физике элементарных частиц. У-1 Уметь: структурировать явления физики элементарных частиц, создавать или подбирать физическую модель для их описания. В-1 Владеть: способностью оценивать границы применимости физических моделей, определять их недостатки и несоответствия.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Часть 1.

Тема 1. Элементарные частицы материи.

Элементарные частицы материи - кварки и лептоны. Естественная система единиц. Изоспин. Бозоны и фермионы.

Тема 2. С- и Р- четность.

Р-четность. С-четность. Частицы и античастицы. Странность. СР-четность. Нарушение СР.

Тема 3. Наивная кварковая модель.

Очарованный кварк. В-кварк. Мезоны и барионы с b-кварком. Топ-кварк. Наивная кварковая модель.

Тема 4. Мультиплеты мезонов и барионов.

Мультиплеты мезонов в SU(2), SU(3) и SU(4). Векторные и псевдоскалярные мезоны. Массовые формулы Гелл-Манна- Окубо. Классификация барионов по мультиплетам.

Часть 2.

Тема 5. Ранняя Вселенная.

Расширение Вселенной. Реликтовое излучение. Химический состав Вселенной. Первичный нуклеосинтез. Темная материя. Темная энергия.

Тема 6. Элементы КХД.

Уравнение Клейна- Гордона. Уравнение Дирака. Калибровочная инвариантность. Лагранжиан КХД. Цветовой заряд. Открытие глюонов. Конфайнмент. Кварковый вакуумный конденсат.

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		
Основы физики элементарных частиц	4	144	70	35	35	74	

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

Изучение курса «Основы физики элементарных частиц» 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					Са мо ст оя те ль на я ра бо та	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Вс его ча со в	Л е к ц и и	С е м и на р ы	Учебно-практические занятия (лабораторные или практические занятия)			
1	Элементарные частицы материи	17	5	5		7		
2	С- и Р- четность	17	5	5		7		
3	Наивная кварковая модель	17	5	5		7		
4	Мультиплеты мезонов и барионов	15	3	3		9		
	Промежуточная аттестация	6				6	экзамен	
5	Ранняя Вселенная	35	9	9		17		
6	Элементы КХД	33	8	8		17		
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет	
ИТОГО:		144	35	35		74		

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

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Основы физики элементарных частиц» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и беседах по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Основы физики элементарных частиц» проводится в первом семестре в виде экзамена, а во втором в форме зачета в виде письменной работы.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

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 экзамену и зачету
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 разделы и направления в физике элементарных частиц ИМПК-1.1	Отсутствие знаний основных разделов и направлений в физике элементарных частиц	В целом успешные, но не систематические знания основных разделов и направлений в физике элементарных частиц	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных разделов и направлений в физике элементарных частиц	Успешные и систематические знания основных разделов и направлений в физике элементарных частиц
УМЕТЬ:	Отсутствие умения	В целом	В	Успешное и

структурировать явления физики элементарных частиц, создавать или подбирать физическую модель для их описания ИМПК-1.1	структурировать явления физики элементарных частиц, создавать или подбирать физическую модель для их описания	успешное, но не систематическое умение структурировать явления физики элементарных частиц, создавать или подбирать физическую модель для их описания	целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение структурировать явления физики элементарных частиц, создавать или подбирать физическую модель для их описания	систематическое умение структурировать явления физики элементарных частиц, создавать или подбирать физическую модель для их описания
ВЛАДЕТЬ: способностью оценивать границы применимости физических моделей, определять их недостатки и несоответствия ИМПК-1.1	Отсутствие/фрагментарное владение способностью оценивать границы применимости физических моделей, определять их недостатки и несоответствия	В целом успешное, но не систематическое владение способностью оценивать границы применимости физических моделей, определять их недостатки и несоответствия	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение способностью оценивать границы применимости физических моделей, определять их недостатки и несоответствия	Успешное и систематическое владение способностью оценивать границы применимости физических моделей, определять их недостатки и несоответствия

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Пример:

Вопросы по теории:

1. Пояснить понятие Наивная кварковая модель.
2. Привести классификация барионов по мультиплетам.
3. Пояснить понятие Темная материя.

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

Экзамен проводится в виде письменной работы с последующим собеседованием по изученным темам.

Зачет проводится в форме письменной работы.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену части 1:

1. Покажите, что эффективная масса группы фотонов, летящих в одном направлении, равна нулю.
2. Докажите, что если в некоторой системе отсчета направления движения двух фотонов совпадают, то они совпадают в любой другой системе отсчета. (На простом языке: вы,

настроили, отъюстировали и включили 2 лазера (с пучками разных цветов), которые дали 2 параллельных пучка. Наблюдатель из любой другой (инерциальной) системы отсчета (Ийон Тихий, например, из своего звездолета) - тоже увидит эти пучки параллельными (хотя, м.б., других цветов) или эти пучки не будут для него параллельными?

3. Какие из перечисленных далее реакций имеют порог? $Kp \rightarrow \Lambda p$; $N(\Lambda, \Sigma)N$; $\Sigma N \rightarrow \Lambda N$
4. Что такое «ограничение Фруассара»?
5. Что такое «сужение дифракционного конуса»?
6. Имеет ли место быть, при доступных сейчас энергиях, «фруассаровский режим» роста полных сечений рассеяния (обоснуйте ответ)?
7. В чем отличие зарядовой независимости ядерных сил от их зарядовой симметрии?
8. Чему равен изоспин дейтрона? Обоснуйте свой ответ.
9. Сколько юкавских пионов, обменом которыми обусловлены ядерные силы на больших расстояниях, должно быть, и почему?
10. Имеется 2 частицы с массами m_1 и m_2 , 4-импульсы которых есть P_1 и P_2 . Когда эффективная масса такой системы максимальна, и когда она минимальна, если энергии и массы частиц не меняются, но вы можете все-таки варьировать нечто иное? Обоснуйте ответ.

Вопросы к зачету части 2:

1-ый вопрос

1. Какие части полного эффективного гамильтониана слабого взаимодействия отвечают за переходы типа Ферми? Какие части этого гамильтониана отвечают за переходы Гамова-Теллера?
2. Почему ядра, испытывающие бета-распад, имеют разные времена жизни?
3. Чем отличаются слабые распады типа Ферми от распадов типа Гамова-Теллера?
4. В чем состоит физический смысл упругих электромагнитных формфакторов нуклона?
5. Сохраняются ли токи, входящие в эффективный гамильтониан слабого взаимодействия?
6. Сколько структурных функций нуклона можно измерить при инклюзивных измерениях неупругого электрон-нуклонного рассеяния, когда начальные частицы неполяризованы, и при этом не измеряется поляризация регистрируемых частиц конечного состояния?
7. Почему было ясно с самого начала, что 4-фермионная теория слабого взаимодействия является «эффективной», т.е. приближенной? (Подсказка: вспомните материал предыдущего семестра.)
8. Чем отличается «дираковский» упругий электромагнитный формфактор от «паулиевского»?
9. Как связан среднеквадратический электрический радиус нуклона с поведением соответствующего (какого?) формфактора?
10. Почему было ясно с самого начала, что нейтральные «слабые» токи обязаны существовать?
11. В чем состоит главная идея векторной доминантности?
12. В чем различие между двумя главными методами определения отношения электрического и магнитного формфакторами нуклона? Как эти методы называются?

В чем разница между структурными функциями и функциями фрагментации?

2-ой вопрос

1. Написать уравнение Дирака в ковариантной форме.
2. Перестановочные соотношения между \square -матрицами.
3. Определение глобальной калибровочной инвариантности.
4. Определение локальной калибровочной инвариантности.
5. Написать лагранжиан КХД.
6. Величина ПКХД.
7. Константа сильного взаимодействия с ростом энергии:
 - а) растет
 - б) падает
 - в) не меняется
8. Что такое киральная инвариантность?
9. Записать билинейные произведения гамма-матриц, которые преобразуются как
 1. скаляр
 2. вектор
 3. аксиальный вектор
 4. псевдоскаляр
 5. тензор
1. Пример голдстоуновского бозона.
2. Величина кваркового конденсата в вакууме.
3. Величина глюонного конденсата в вакууме.
4. Какова масса нуклона в киральном пределе.
5. Что такое инстантон? Размер инстантона и средняя плотность инстантонов в вакууме.
6. Расставьте эти понятия в порядке причинной связи: СНКИ, инстантоны, вакуум КХД, масса нуклона, кварковый конденсат
7. Что такое эффект Казимира?
8. \square - член в уравнении Эйнштейна - физический смысл.
9. Как меняется со временем масштабный фактор на стадии инфляции.
10. Как соотносятся плотность энергии Вселенной и критическая плотность?
11. Написать формулу для дифференциального сечения рассеяния на составном объекте (через формфактор)
12. Определение зарядового формфактора рассеяния.
13. Какова связь между формфактором и среднеквадратичным радиусом частицы.
14. Каков знак квадрата переданного импульса
 1. в реакциях аннигиляции
 2. в реакциях рассеяния
15. Определение переменной Бьеркена x . Ее физический смысл.
16. Скейлинг. Что это такое?
17. Какие эксперименты доказывают (начертите графики с соответствующими результатами) , что внутри нуклона есть:
 1. точечные частицы
 2. с дробными зарядами
 3. с цветовым зарядом $N_c = 3$

18. $D_s = -0.11 \pm 0.02$. Опишите словами, что это означает.
19. Каков вклад кварков в спин нуклона:
1. 0
 2. 30%
 3. 60%
 4. 90%
20. Каков вклад глюонов в импульс нуклона.
21. Нарисовать кварковую диаграмму бета-распада.
22. Сколько есть слабых зарядов, их относительная величина по сравнению с электромагнитным зарядом.
23. Что происходит с полным сечением рассеяния нейтрино на нуклоне с энергией:
1. растет
 2. падает
 3. остается неизменным
24. Расставьте три стрелочки, символизирующие опыт Ву:
1. направление магнитного поля
 2. направление спина ядра
 3. направление предпочтительного вылета электронов
25. V-A структура заряженного тока это следствие:
1. нарушения четности
 2. Стандартной модели электрослабого взаимодействия
 3. существования трех промежуточных бозонов
 4. экспериментальный факт
26. Нарисовать диаграмму процесса слабого взаимодействия, которое происходит по нейтральному току.
27. Сечение каких взаимодействий нейтрино, заряженных или нейтральных, больше и насколько.
28. Физический смысл элемента матрицы Каббиво -Кобаяши - Маскава V_{CS}

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

Основная литература

1. Л.Б.Окунь Физика элементарных частиц. М., Наука., 1988
2. Д.Перкинс, Введение в физику высоких энергий, М., Энергоатомиздат, 1991
3. М.Е.Пескин, Д.В.Шредер, Введение в квантовую теорию поля., Ижевск, НИЦ РХД, 2001
4. Г.И.Копылов, Основы кинематики резонансов, М., Наука, 1970
5. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 2, М. Наука, 1988
6. Е. Бюклинг, К. Каянти, Кинематика элементарных частиц, М., Мир, 1975

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 профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования) <http://www.elibrary.ru>
- Сайт кафедры <https://msu-dubna.ru/hep>
- Открытая база данных Particle Data Group,
- поисковая система INSPIRE (<http://inspirehep.net/>)
- Электронные версии журналов Phys. Lett., Phys. Rev., Eur. Phys. J., Nucl. Phys., Nucl. Instrum and Meth.

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.