

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:

Техника вычисления диаграмм Фейнмана

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 Наумов Дмитрий Вадимович, 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 «Техника вычисления диаграмм Феймана»

Цель курса формирование у обучающегося навыка использования практического инструмента: вычисления на древесном уровне ширин и сечений различных электрослабых процессов. Вычисления ведутся в рамках Фейнмановских диаграмм. Все вычисления доводятся до числа и сравниваются с экспериментальными данными.

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 «Техника вычисления диаграмм Феймана» 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-1.2 умеет выполнять следующие операции в рамках решения профессиональной деятельности: вычисления на древесном уровне ширины и сечений различных процессов физики элементарных частиц	З-1 Знать: принципы построения диаграмм Феймана. У-1 Уметь: строить и применять диаграммы Феймана для описания явлений в физике элементарных частиц. В-1 Владеть: знаниями необходимого аппарата квантовой электродинамики и квантовой хромодинамики и умением его применять.
МПК-3 Способен самостоятельно (или) в составе научного коллектива применять математические методы для исследования физических явлений и процессов в области физики элементарных частиц при решении задач профессиональной деятельности	ИМПК-3.1 Знает основные математические методы, применяемые при исследовании в области физики элементарных частиц	З-1 Знать: методы вычисления сечений процессов и иных характеристик с помощью диаграмм Феймана. У-1 Уметь: вычислять характеристики процессов физики элементарных частиц с помощью диаграмм Феймана. В-1 Владеть: аппаратом линейной алгебры, необходимым для работы с тензорами и успешным вычислением характеристик процессов физики элементарных частиц.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Часть 1.

Тема 1. Элементы классической теории поля, часть 1.

Принцип экстремума действия. Уравнения Эйлера-Лагранжа. Теорема Нетер и законы сохранения. Тензор энергии-импульса, заряд.

Тема 2. Энергия-импульс полей.

Энергия-импульс скалярного вещественного и комплексного полей, векторного поля с нулевой и ненулевой массой, спинорного поля. Неопределённость энергии спинорного поля и необходимость перехода к квантовой теории поля.

Тема 3. Коммутационные соотношения.

Коммутационные соотношения для операторов скалярных, векторных и спинорных полей. Аналогия с классической теорией поля — обобщенные импульсы, гамильтониан.

Тема 4. Пропагаторы.

Пропагаторы. Функции Грина.

Тема 5. Причинность.

Причинность в квантовой теории поля.

Тема 6. Матрицы.

Теория S-матрицы. T-упорядочивание. Теорема Вика. Матричные элементы. Наблюдаемые сечения и ширины распадов.

Тема 7. Процессы в квантовой электродинамике.

Процессы в квантовой электродинамике. Элементарные диаграммы. Правила Фейнмана. Сечение аннигиляции $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$. Измерение электрических зарядов кварков. Сечение комптоновского рассеяния фотона на электроны.

Часть 2.

Тема 8. Процессы в электрослабой теории.

Некоторые процессы в электрослабой теории. Ширины распадов мюона, пиона, нейтрона, каона. Сечения реакций нейтрино + лептон \rightarrow нейтрино + лептон. Интерференция заряженного и нейтрального токов. Процессы с нейтральным током. Сечения рассеяния нейтральных и заряженных лептонов на нуклоне. Кварк-партонная модель. Кинематика. Кварковые распределения. Структурные функции. Распады W, Z бозонов.

Тема 9. Элементы классической теории поля, часть 2.

Элементы классической теории поля. Симметрии и нарушения симметрий — глобальных и локальных. Введение взаимодействий из принципа калибровочной инвариантности. Механизмы Голдстоуна и Хиггса. Абелевые и неабелевые теории. Построение Стандартной Модели.

Тема 10. Бозон Хиггса.
Распады бозона Хиггса.

Тема 11. Расходимости в петлевых диаграммах.
Расходимости в петлевых диаграммах и теория перенормировок (краткий курс).

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		
Техника вычисления диаграмм Феймана	5	180	70	35	35	110	

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

Изучение курса «Техника вычисления диаграмм Феймана» 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.

№ темы	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

		Вс его ча со в	Л е к ц и и	С е м и н а р ы	Учебно- практичес кие занятия (лаборато рные или практичес кие занятия)	Са мо сто ят ель на я ра бо та	
1	Элементы классической теории поля, часть 1	8	2	2		4	
2	Энергия-импульс полей	8	2	2		4	
3	Коммутационные соотношения	8	2	2		4	
4	Пропагаторы	10	3	3		4	
5	Причинность	10	3	3		4	
6	Матрицы	10	3	3		4	
7	Процессы в квантовой электродинамике	12	3	3		6	
	Промежуточная аттестация	6				6	экзамен
8	Процессы в электрослабой теории	27	5	5		17	
9	Элементы классической теории поля, часть 2	25	4	4		17	
10	Бозон Хиггса	25	4	4		17	
11	Расходимости в петлевых диаграммах	25	4	4		17	
	Промежуточная аттестация	6				6	экзамен
ИТОГО:		180	3 5	3 5		110	

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

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Техника вычисления диаграмм Феймана» 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 «Техника вычисления диаграмм Феймана» проводится в первом и втором семестрах в виде экзамена.

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
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	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/	3/	4/	5/

обучения	неудовлетворитель но	удовлетворитель но	хорошо	отлично
ЗНАТЬ: принципы построения диаграмм Феймана ИМПК-1.2	Отсутствие знаний принципов построения диаграмм Феймана	В целом успешные, но не систематические знания принципов построения диаграмм Феймана	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания принципов построения диаграмм Феймана	Успешные и систематические знания принципов построения диаграмм Феймана
ЗНАТЬ: методы вычисления сечений процессов и иных характеристик с помощью диаграмм Феймана ИМПК-3.1	Отсутствие знаний методов вычисления сечений процессов и иных характеристик с помощью диаграмм Феймана	В целом успешные, но не систематические знания методов вычисления сечений процессов и иных характеристик с помощью диаграмм Феймана	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания методов вычисления сечений процессов и иных характеристик с помощью диаграмм Феймана	Успешные и систематические знания методов вычисления сечений процессов и иных характеристик с помощью диаграмм Феймана
УМЕТЬ: строить и применять диаграммы Феймана для описания явлений в физике элементарных частиц ИМПК-1.2	Отсутствие умения строить и применять диаграммы Феймана для описания явлений в физике элементарных частиц	В целом успешное, но не систематическое умение строить и применять диаграммы Феймана для описания явлений в физике элементарных частиц	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить и применять диаграммы Феймана для описания явлений в физике элементарных частиц	Успешное и систематическое умение строить и применять диаграммы Феймана для описания явлений в физике элементарных частиц
УМЕТЬ: вычислять характеристики процессов физики элементарных частиц с помощью диаграмм Феймана ИМПК-3.1	Отсутствие умения вычислять характеристики процессов физики элементарных частиц с помощью диаграмм Феймана	В целом успешное, но не систематическое умение вычислять характеристики процессов физики элементарных частиц с помощью диаграмм Феймана	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение вычислять характеристики процессов физики элементарных частиц с помощью диаграмм Феймана	Успешное и систематическое умение вычислять характеристики процессов физики элементарных частиц с помощью диаграмм Феймана
ВЛАДЕТЬ: знаниями необходимого аппарата квантовой электродинамики и квантовой хромодинамики и умением его применять ИМПК-1.2	Отсутствие/фрагментарное владение знаниями необходимого аппарата квантовой электродинамики и квантовой хромодинамики и умением его применять	В целом успешное, но не систематическое владение знаниями необходимого аппарата квантовой электродинамики и квантовой хромодинамики и умением его применять	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение знаниями необходимого аппарата квантовой электродинамики и квантовой хромодинамики и умением его применять	Успешное и систематическое владение знаниями необходимого аппарата квантовой электродинамики и квантовой хромодинамики и умением его применять

ВЛАДЕТЬ: аппаратом линейной алгебры, необходимым для работы с тензорами и успешным вычислением характеристик процессов физики элементарных частиц ИМПК-3.1	Отсутствие/фрагментарное владение аппаратом линейной алгебры, необходимым для работы с тензорами и успешным вычислением характеристик процессов физики элементарных частиц	В целом успешное, но не систематическое владение аппаратом линейной алгебры, необходимым для работы с тензорами и успешным вычислением характеристик процессов физики элементарных частиц	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение аппаратом линейной алгебры, необходимым для работы с тензорами и успешным вычислением характеристик процессов физики элементарных частиц	Успешное и систематическое владение аппаратом линейной алгебры, необходимым для работы с тензорами и успешным вычислением характеристик процессов физики элементарных частиц
---	---	---	--	---

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

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

Экзамены проводятся в виде письменной работы с последующим собеседованием по изученным темам.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Примеры задач для сдачи экзамена 1-ой части:

Задача 26

Покажите, что лагранжиан

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \varphi_1 \partial^\mu \varphi_1 + \partial_\mu \varphi_2 \partial^\mu \varphi_2) - \frac{m^2}{2}(\varphi_1^2 + \varphi_2^2) - \frac{\lambda}{4}(\varphi_1^2 + \varphi_2^2)^2$$

инвариантен при преобразованиях

$$\varphi_1 \rightarrow \varphi'_1 = \varphi_1 \cos \theta - \varphi_2 \sin \theta,$$

$$\varphi_2 \rightarrow \varphi'_2 = \varphi_1 \sin \theta + \varphi_2 \cos \theta.$$

Найдите соответствующий нетеровский ток и заряд.

Задача 27

Покажите, что лагранжиан

$$\mathcal{L} = \partial_\mu \varphi^\dagger \partial^\mu \varphi - m^2 \varphi^\dagger \varphi,$$

Где

$$\varphi = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{pmatrix}$$

инвариантен относительно SU(2) преобразований. Найдите соответствующий нетеровский ток и заряд.

Задача 29

Найдите размерность скалярного поля $\varphi(x)$

Задача 30

Покажите при помощи уравнений движения, что энергия и импульс вещественного поля не зависят от времени:

$$\frac{d}{dt} \int dx \mathcal{H}(t, \mathbf{x}) = 0.$$

$$\frac{d}{dt} \int dx \mathcal{P}^i(t, \mathbf{x}) = 0.$$

Примеры задач для сдачи экзамена 2-ой части

Задача 13

Покажите, что уравнение непрерывности $\partial_\mu j^\mu = 0$ удовлетворяется для тока

$$j^\mu = -\frac{i}{2} (\varphi^* \partial^\mu \varphi - \varphi \partial^\mu \varphi^*) - q A^\mu \varphi^* \varphi,$$

где φ – решение уравнения Клейна-Гордона для частицы с электрическим зарядом q в электромагнитном поле с 4-потенциалом A_μ .

Задача 14

Докажите

$$\sigma_{\mu\nu}^\dagger = \gamma^0 \sigma_{\mu\nu} \gamma^0$$

Задача 15

Докажите

$$[\sigma_{\mu\nu}, \gamma_5] = 0$$

Задача 16

Проверьте равенство

$$e^{\gamma_5 \hat{a}} = \cos \sqrt{a^2} + \frac{1}{\sqrt{a^2}} \gamma_5 \hat{a} \sin \sqrt{a^2},$$

если $a^2 \equiv a_\mu a^\mu > 0$.

Задача 23

Пусть при $t = 0$ состояние свободного электрона дается

$$\psi(0, \mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi d^2)^{3/4}} e^{-\frac{x^2}{4d^2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Найдите $\psi(t, x)$ при $t > 0$.

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

Основная литература

1. Л.Б.Окунь "Лептоны и кварки" Наука, 1990 г.
2. Л.Б.Окунь "Физика элементарных частиц", Наука 1988 г.
3. С.М.Биленький "Введение в диаграммы Фейнмана и физику электрослабых взаимодействий" Энергоатомиздат, 1990 г.
4. Ю.Комминс, Ф.Буксбаум "Слабые взаимодействия лептонов и кварков" Энергоатомиздат 1987г.

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

1. База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования)
<http://www.elibrary.ru>

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.