

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 /
« 4 » 09 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Основные методы квантовой теории поля

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 «Основные методы квантовой теории поля»

Цель курса формирование у обучающегося практического навыка для 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 «Основные методы квантовой теории поля» реализуется на 1-ом курсе в 1-ом семестре 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**

1. Основы квантовой теории.
 - Базисы, переходы между ними.
 - Квантовый осциллятор, атом водорода, операторы рождения и уничтожения.
2. Уравнения Максвелла.
 - СТО, 4-векторы, метрический тензор.
 - Инварианты, 4-дивергенция.
3. Уравнение Клейна-Гордона.
 - Тонкое расщепление уровней энергии в атоме водорода в теории Клейна-Гордона.
 - Несостоятельность интерпретации решения уравнения Клейна-Гордона как волновой функции.
4. Уравнение Дирака.
 - Гамма матрицы, их алгебра, вычисление следов, разложение по базису, тождество Фирца.
 - Нерелятивистский переход в теории Дирака и спектр атома водорода.
5. Одночастичная волновая функция
 - Предсказание античастицы.
 - Несостоятельность интерпретации решения уравнения Дирака как одночастичной волновой функции.

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		
Основные методы квантовой теории поля	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 «Основные методы квантовой теории поля» 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 н а р ы	Учебно- практичес кие занятия (лаборато рные или практичес кие занятия)			
1	Основы квантовой теории. Базисы, переходы между ними.	8	2	2		4	Оп	
2	Квантовый осциллятор, атом водорода, операторы рождения и уничтожения.	7	2	2		3	Оп	
3	Уравнения Максвелла. СТО, 4-векторы, метрический тензор.	8	2	2		4	Оп	
4	Инварианты, 4-дивергенция.	6	1	2		3	Оп	
5	Уравнение Клейна-Гордона. Тонкое расщепление уровней энергии в атоме водорода в теории Клейна-Гордона.	8	2	2		4	Оп	
6	Несостоятельность интерпретации решения уравнения Клейна-Гордона как волновой функции.	7	2	1		4	КР	
7	Уравнение Дирака. Гамма матрицы, их алгебра, вычисление следов, разложение по базису, тождество Фирца.	8	2	2		4	Оп	

8	Нерелятивистский переход в теории Дирака и спектр атома водорода.	7	2	2		3	Оп
9	Одночастичная волновая функция Предсказание античастицы.	6	1	1		3	Оп
10	Несостоятельность интерпретации решения уравнения Дирака как одночастичной волновой функции.	8	2	2		4	Оп
	Промежуточная аттестация	4				4	Зачет с оценкой
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 «Основные методы квантовой теории поля» 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 широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Основные методы квантовой теории поля» проводится в первом и втором семестрах в виде экзамена.

Результаты сдачи зачета с оценкой 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	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины

	всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	
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 обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ неудовлетворительно	3/ удовлетворительно	4/ хорошо	5/ отлично
ЗНАТЬ: принципы основные методы квантовой теории поля ИМПК-1.2	Отсутствие знаний об основных методах квантовой теории поля	В целом успешные, но не систематические знания об основных методах квантовой теории поля	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания об основных методах квантовой теории поля	Успешные и систематические знания об основных методах квантовой теории поля
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	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить и применять диаграммы Феймана для описания явлений	Успешное и систематическое умение строить и применять диаграммы Феймана для описания явлений в физике элементарных частиц

		частиц	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

Вопросы по теории:

1. Понятие квантового осциллятора
2. Уравнение Клейна-Гордона

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

Задача 1

Проверьте, что в системе единиц $\hbar = c = 1$ справедливо:

$$1 \text{ ГэВ} \approx 1.78 \cdot 10^{-24} \text{ г} \approx 1.6 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$$

$$1 \text{ ГэВ}^{-1} \approx 6.58 \cdot 10^{-25} \text{ с} \approx 1.97 \cdot 10^{-14} \text{ см}$$

Задача 2

Найдите размерность напряженности магнитного поля в системе единиц $\hbar = c = 1$.

Чему равен один гаусс в этой системе единиц?

Задача 3

Найдите явное выражение для матрицы $\Lambda^\mu_\nu(v)$ для случая произвольного направления скорости $v = (v_1, v_2, v_3)$.

Задача 4

При помощи явного вида $\Lambda^\mu_\nu(v)$ из задачи (3) покажите, что скалярное произведение двух 4-векторов является лоренцовским инвариантом.

Задача 5

Поле \mathbf{A} представим в виде: $\mathbf{A} = \frac{1}{2} \mathbf{B} \times \mathbf{r}$. Убедитесь в том, что $\nabla \times (\frac{1}{2} \mathbf{B} \times \mathbf{r}) = \mathbf{B}$.

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.