

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» 09 2022 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Наименование дисциплины:**

Теория групп в физике элементарных частиц и атомного ядра

---

**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 Волобуев Игорь Павлович, ведущий научный сотрудник НИИЯФ МГУ

Руководитель магистерской программы:

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

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Теория групп в физике элементарных частиц и атомного ядра»**

Курс включает основные сведения из теории групп и теории представлений групп, подробное изложение теории симметрической группы, групп  $SU(2)$  и  $SU(3)$  и их приложений к физическим задачам.

### **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 «Теория групп в физике элементарных частиц и атомного ядра» 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
<b>МПК-1</b> Способен решать практические задачи профессиональной деятельности в области физики элементарных частиц на основе фундаментальных знаний	<b>ИМПК-1.1</b> Знает основные разделы физики элементарных частиц: сильные, электромагнитные, слабые взаимодействия, симметрии в физике частиц	<b>З-1</b> Знать: основные понятия и представления в теории групп, в том числе используемые в физике элементарных частиц. <b>У-1</b> Уметь: математически описывать группы Ли, представления $SU(2)$ , $SU(3)$ и решать задачи теории групп, связанные с физикой элементарных частиц. <b>В-1</b> Владеть: аппаратом линейной алгебры и иных разделов высшей математики, необходимых для решения задач теории групп

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

*Тема 1. Основные понятия теории групп.*

.

*Тема 2. Группы Ли и алгебры Ли.*

.

*Тема 3. Представления групп.*

Тема 4. Разложение представлений.

Тема 5. Представления симметрической группы.

Тема 6. Представления группы  $SU(2)$ .

Тема 7. Представления группы  $SU(3)$ .

Тема 8. Корневая структура полупростых алгебр Ли.

Тема 9. Некоторые ортогональные группы.

Тема 10. Индуцированные представления группы Пуанкаре и релятивистские волновые уравнения.

## 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		
Теория групп в физике элементарных частиц и атомного ядра	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 «Теория групп в физике элементарных частиц и атомного ядра» 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	Основные понятия теории групп	5	1	1		3		
2	Группы Ли и алгебры Ли	5	1	1		3		
3	Представления групп	7	2	2		3		
4	Разложение представлений	7	2	2		3		
5	Представления симметрической группы	7	2	2		3		
6	Представления группы SU(2)	7	2	2		3		
7	Представления группы SU(3)	7	2	2		3		
8	Корневая структура полупростых алгебр Ли	7	2	2		3		
9	Некоторые ортогональные группы	7	2	2		3		
10	Индукцированные представления группы Пуанкаре и релятивистские волновые уравнения	7	2	2		3		
	Промежуточная аттестация	6				6	экзамен	
<b>ИТОГО:</b>		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 «Теория групп в физике элементарных частиц и атомного ядра» 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 «Теория групп в физике элементарных частиц и атомного ядра» проводится в первом семестре в форме 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
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
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
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
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: основные понятия и представления в теории групп, в том числе используемые в физике элементарных частиц ИМПК-1.1	Отсутствие знаний основных понятий и представлений в теории групп, в том числе используемых в физике элементарных частиц	В целом успешные, но не систематические знания основных понятий и представлений в теории групп, в том числе используемых в физике элементарных частиц	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных понятий и представлений в теории групп, в том числе используемых в физике элементарных частиц	Успешные и систематические знания основных понятий и представлений в теории групп, в том числе используемых в физике элементарных частиц
УМЕТЬ: математически описывать группы Ли, представления $SU(2)$ , $SU(3)$ и решать задачи теории групп, связанные с физикой элементарных частиц ИМПК-1.1	Отсутствие умения математически описывать группы Ли, представления $SU(2)$ , $SU(3)$ и решать задачи теории групп, связанные с физикой элементарных частиц	В целом успешное, но не систематическое умение математически описывать группы Ли, представления $SU(2)$ , $SU(3)$ и решать задачи теории групп, связанные с физикой элементарных частиц	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение математически описывать группы Ли, представления $SU(2)$ , $SU(3)$ и решать задачи теории групп, связанные с физикой элементарных частиц	Успешное и систематическое умение математически описывать группы Ли, представления $SU(2)$ , $SU(3)$ и решать задачи теории групп, связанные с физикой элементарных частиц
ВЛАДЕТЬ: аппаратом линейной алгебры и иных разделов высшей математики, необходимых для решения задач теории групп ИМПК-1.1	Отсутствие/фрагментарное владение аппаратом линейной алгебры и иных разделов высшей математики, необходимых для решения задач теории групп	В целом успешное, но не систематическое владение аппаратом линейной алгебры и иных разделов высшей математики, необходимых для решения задач теории групп	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение аппаратом линейной алгебры и иных разделов высшей математики, необходимых для решения задач теории групп	Успешное и систематическое владение аппаратом линейной алгебры и иных разделов высшей математики, необходимых для решения задач теории групп

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

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

#### **Пример:**

#### Вопросы по теории:

1. Основные понятия теории групп
2. Разложение представлений групп



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

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

#### ***Материалы промежуточной аттестации обучающихся***

##### Вопросы к экзамену:

- 1.1 Группы преобразований и абстрактные группы.
- 1.2 Отображения групп. Подгруппы.
- 1.3 Однородные пространства.
- 1.4 Основные типы групп.
- 1.5 Прямое и полупрямое произведения групп.
- 1.6 Топологические группы и однородные пространства.
  
- 2.1 Элементы анализа на многообразиях. Векторные поля и дифференциальные формы.
- 2.2 Группы Ли.
- 2.3 Ассоциативные алгебры и алгебры Ли.
- 2.4 Алгебра Ли группы Ли. Экспоненциальное отображение.
- 2.5 Универсальная обертывающая алгебра и операторы Казимира.
- 2.6 Примеры.
  
- 3.1 Линейные представления и сплетающие операторы.
- 3.2 Унитарные представления.
- 3.3 Тензорное произведение представлений.
- 3.4 Индуцированные представления.
  
- 4.1 Разложение конечномерных представлений.
- 4.2 Неприводимые представления. Лемма Шура.
- 4.3 Вполне приводимые представления.
  
- 5.1 Схемы Юнга.
- 5.2 Спиновые, изоспиновые и пространственные волновые функции системы фермионов с определенной симметрией.
  
- 6.1 Группа пространственных вращений и группа  $SU(2)$ .
- 6.2 Корневая структура алгебры Ли группы  $SU(2)$ .
- 6.3 Старший вес и неприводимые представления группы  $SU(2)$ .
- 6.4 Тензорное произведение неприводимых представлений и коэффициенты Клебша - Гордана.
  
- 7.1 Алгебра Ли группы  $SU(3)$ , регулярные и сингулярные элементы.
- 7.2 Подалгебра Картана и разложение по корневым подпространствам.
- 7.3 Классификация неприводимых представлений.
- 7.4 Операторы Казимира и модель Эллиота для описания легких ядер.
  
- 8.1 Регулярные элементы, подалгебры Картана и корневые подпространства.
- 8.2 Инвариантные билинейные формы. Форма Киллинга.
- 8.3 Системы простых корней и диаграммы Дынкина. Матрица Картана и классификация простых алгебр Ли.

8.4 Регулярные и нерегулярные подалгебры. Индекс подалгебры. Ограничение представления на подалгебру.

8.5 Примеры: модели Великого объединения.

9.1 Группа вращений  $O(4)$ .

9.2 Группа Лоренца.

9.3 Алгебры Клиффорда и спинорные представления групп вращения.

10.1 Состояния релятивистской частицы и представления группы Пуанкаре.

10.2 Спинорные волновые функции в случае ненулевой и нулевой массы.

10.3 Уравнения для спинорных полей.

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

##### Основная литература

1. Барут А., Рончка Р. Теория представлений групп и ее приложения. М.:Мир, 1980
2. Волобуев И.П., Кубышин Ю.А., "Дифференциальная геометрия и алгебры Ли и их приложения в теории поля", М.: Эдиториал УРСС, 1998 г.
3. Гото М., Гроссханс Ф. Полупростые алгебры Ли. М.: Мир, 1981.
4. Джекобсон Н. Алгебры Ли. М.: Мир, 1964.
5. Дубровин В.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия. Методы и приложения. 2-е изд. М.: Наука, 1986.
6. Дынкин Е.Б. Классификация простых алгебр Ли. Мат. сборник, т. 18, 347--352 (1946).
7. Дынкин Е.Б. Максимальные подгруппы классических групп. Труды Московского математического общества, т. 1, 39--166 (1952).
8. Кириллов А.А. Элементы теории представлений.

##### Дополнительная литература

1. Кобаяси Ш., Номидзу К. Основы дифференциальной геометрии. т.1/2. М.: Наука, 1981.
2. Ляховский В.Л., Болохов А.А. Группы симметрии и элементарные частицы. Л.: изд-во ЛГУ, 1983.
3. Новожилов Ю.В. Введение в теорию элементарных частиц. М.: Наука, 1972.
4. Номидзу К. Группы Ли и дифференциальная геометрия. М.: ИИЛ, 1960.
5. Петрашень М.И., Трифонов Е.Д. Применение теории групп в квантовой механике. М.: Эдиториал УРСС, 2010.
6. Эллиот Дж., Добер П. Симметрия в физике. т. 1/2. М.: Мир, 1983.
7. Cahn R.N. Semi-simple Lie algebras and their representations. Reading, MA: Benjamin/Cummings Pub. Com., 1984.
8. Langacker P. Grand unified theories and proton decay. Physics Reports v.72, No 4, pp.185-385, 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 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.