

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва»

Естественнонаучный институт

Физический Факультет

Кафедра общей и теоретической физики

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Принципы симметрии и классические поля

Основная образовательная программа направления

03.03.02 Физика

Цикл Б3 «Профессиональный», вариативная часть

Профиль подготовки «Фундаментальная физика»

Квалификация (степень) выпускника
бакалавр

Форма обучения очная

Курс 3, семестр 5

Составители рабочей программы:

Данилюк Б.В., старший преподаватель кафедры общей и теоретической физики СамГУ
Горохов А.В., д.ф.-м.н., профессор кафедры общей и теоретической физики СУ

Самара
2016

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов/ зачетных единиц
Трудоемкость изучения дисциплины	144/4
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)	54
В том числе:	
Лекции	24
лабораторные занятия	Не предусмотрены
практические занятия	30
Контролируемая самостоятельная работа (КСР)	8
Самостоятельная работа студента	46
В том числе:	
Подготовка к практическим занятиям	10
Выполнение заданий, состоящих из задач по темам курса	15
Самостоятельное изучение тем	21
Подготовка реферата	Не предусмотрена
Курсовая работа	Не предусмотрена
Подготовка и сдача зачета	Не предусмотрены
Подготовка и сдача экзамена	36

ПРОГРАММА УЧЕБНОГО КУРСА

1. Принципы симметрии в современной физике

Симметрия геометрических фигур. Платоновы тела. Симметрия молекул и кристаллов. Симметрия физических законов. Симметрия пространства-времени и принципы относительности. Фундаментальные взаимодействия и калибровочная симметрия. Теория групп как математический язык принципов симметрии.

2. Введение в теорию групп

Абстрактные группы. Определения и общие свойства. Конечные группы. Таблица умножения. Комплексы. Подгруппы. Классы смежности. Теорема Лагранжа. Сопряженные элементы, классы, нормализатор. Инвариантные подгруппы. Фактор - группа **G/H**. Центр группы. Взаимные отображения групп. Изоморфизм, гомоморфизм. Теорема о ядре гомо-

морфизма. Автоморфизм и эндоморфизм. Прямое и полупрямое произведение групп. Простые и полупростые группы. Накрывающая группа. Коммутатор. Совершенные группы. Разрешимые и нильпотентные группы. Группа перестановок. Теорема Кэли.

3. Группы преобразований

Группы движений. Транзитивность и интранзитивность. Инвариантная подгруппа точки. Однородные пространства группы движений. Классические матричные группы $SO(n)$, $SU(n)$, $SL(n, \mathbf{R})$, $SL(n, \mathbf{C})$, $SO(p, q)$, $SU(p, q)$, $Sp(2n, \mathbf{R})$. Группа трехмерных вращений. Изоморфизм трехмерной группы вращений и фактор - группы $SU(2)/Z_2$. Двумерная сфера S^2 как фактор - пространство $SU(2)/U(1)$. Дробно - линейные преобразования и их свойства. Модель Пуанкаре плоскости Лобачевского. Сфера Лобачевского. Модель Клейна плоскости Лобачевского. Эллиптическая, гиперболическая и параболическая подгруппы группы $SU(1, 1) \approx SO(2, 1)$. Однородные пространства группы Лоренца $SO(3, 1) \approx SL(2, \mathbf{C})$.

4. Группы и алгебры Ли

Топологические группы. Групповое пространство. Связность и n - связность. Группа путей. Фундаментальная группа. Компактные, некомпактные и локально - компактные группы. Группы Ли. Однопараметрические подгруппы. Алгебры Ли. Структурные константы. Теоремы о связи между алгебрами и группами Ли. Ряд Кэмпбелла - Хаусдорфа. Локальный изоморфизм. Универсальная накрывающая группа. Примеры. Алгебры Ли классических групп. Векторные поля на многообразии. Скобка Пуассона векторных полей. Производные Ли. Поля Киллинга. Классическая механика и симплектическая геометрия. Форма Киллинга. Классификация комплексных простых алгебр Ли.

5. Группы пространственно- временной симметрии

Пространство Минковского. Система отсчета и система координат в пространстве Минковского. Метрический тензор. 4-векторы. Преобразование системы отсчета. Преобразования Лоренца и Пуанкаре. Инверсии в пространстве Минковского. Свойства преобразований Лоренца и их классификация. Группа Лоренца, ее подгруппы и связные компоненты. Группа Пуанкаре, ее подгруппы и связные компоненты. Физические параметры группы Лоренца. Пространственные и гиперболические повороты системы отсчета и матрицы соответствующих преобразований Лоренца. Классификация групп кинематической симметрии в случае изотропного трехмерного пространства. Кинематические группы с абсолютным и относительным временем.

Тема 6. Линейные представления групп

Линейное представление группы. Приводимые и неприводимые представления. Лемма Шура. Унитарные представления. Генераторы представления группы Ли. Экспоненциальная форма операторов линейного унитарного представления группы Ли в векторном пространстве. Присоединенное представление групп Ли. Метод Швингера в теории представлений группы $SU(2)$. Тензорные и спинорные представления группы вращений. Аналитическое продолжение группы $SL(2, \mathbf{C}) \rightarrow SU(2) \times SU(2)$ и спинорные представления группы Лоренца.

7. Основы классической теории поля

Поле как наблюдаемый материальный объект. Поля и частицы. Задачи и методы классической теории поля. Функция поля. Пространство полевых функций. Лагранжиан системы полей. Ограничения, налагаемые на Лагранжиан. Представления группы Пуанкаре в пространстве полевых функций. Тензоры, псевдотензоры и спиноры.

8. Принцип стационарного действия, полевые уравнения и теорема Нётер

Вариационный принцип стационарного действия для системы полей. Полевые уравнения как уравнения Лагранжа-Эйлера. Вариации с подвижной границей. Общая формулировка и доказательство теоремы Нётер. Сохраняющиеся токи и динамические инварианты системы полей. Тензоры энергии-импульса, момента импульса, орбитального момента и спинного момента поля. Энергия, импульс, орбитальный момент и спин поля. Внутренние симметрии, Нётеровы токи и заряды.

9. Свободные классические поля

Свободное скалярное поле (поле Клейна – Гордана). Лагранжиан и полевые уравнения для вещественного и комплексного поля Клейна – Гордана и их корпускулярная интерпретация. Свободное электромагнитное поле. Ковариантная форма записи уравнений Максвелла; калибровочное преобразование 4-потенциала; калибровка Лоренца; условие поперечности; выбор Лагранжиана; решение полевых уравнений, свойства квантов электромагнитного поля (фотонов). Уравнение Дирака; матрицы Дирака и их свойства; сопряженное уравнение Дирака; трансформационные свойства спиноров. Релятивистская инвариантность уравнения Дирака и соответствующее представление группы Лоренца. Дискретные преобразования (инверсия пространства и обращение времени), расширенная группа Лоренца и теория Дирака.

10. Теории взаимодействующих полей.

Общие принципы построения лагранжианов взаимодействия. Принцип локальной калибровочной инвариантности. Модель комплексного поля с локальной $U(1)$ -симметрией. Электромагнитное поле как калибровочное. Минимальное электромагнитное взаимодействие. Удлиненная (ковариантная) производная. Роль векторного потенциала в квантовой физике. Эффект Ааронова – Бома. Магнитный монополю Дирака и квантование (дискретность) электрического заряда. Модель теории с локальной $SU(N)$ -симметрией. Калибровочные поля Янга-Миллса. Хромодинамика – калибровочная теория сильных взаимодействий кварковых полей. Самодействующие скалярные поля и спонтанное нарушение симметрии. Модель Хиггса. Массивные поля Янга-Миллса. Монополю Т’Хуфта – Полякова. Калибровочная группа $SU(2) \times U_1(1)$, единая теория электромагнитного и слабого взаимодействий (теория Вайнберга – Салама). Взаимодействие лептонных и кварковых полей с полями промежуточных бозонов и электромагнитным полем; спонтанное нарушение симметрии и генерация масс лептонов, кварков и бозонов.

11. Элементы теории гравитации

Неинерциальные системы отсчета и принцип эквивалентности. Метрика пространства – времени и ковариантное дифференцирование. Символы Кристоффеля. Уравнение движения точечной частицы в гравитационном поле. Тензор кривизны и тензор Риччи и скалярная кривизна. Теория полей в искривленном пространстве-времени. Действие для свободного гравитационного поля. Уравнения Эйнштейна. Метрика Шварцшильда. Гравитационное красное смещение. Эксперимент Паунда и Ребки. Отклонение луча света в гравитационном поле. Гравитационные волны и проект LIGO. Стандартная космологическая модель Фридмана. Инфляционные модели Вселенной.

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА

В университете в ходе промежуточной аттестации перевод рейтинговых баллов студентов в принятую систему оценки знаний («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «зачтено», «не зачтено») осуществляется единообразно.

– Оценка «отлично» выставляется студенту, набравшему от **86 до 100** рейтинговых баллов, означающих, что теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые компетенции и практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены.

– Оценка «хорошо» выставляется студенту, набравшему от **71 до 85 баллов**, означающих, что теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые компетенции сформированы, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

– Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, набравшему от **60 до 70** баллов, означающих, что теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые компетенции сформированы, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий выполнены с ошибками.

Максимальная сумма баллов, набираемая студентом по дисциплине «**Принципы симметрии и классические поля**», закрываемой семестровой (итоговой) аттестацией (экзаменом), равна **100**.

Баллы, характеризующие успеваемость студента по дисциплине, набираются им в течение всего периода обучения за изучение отдельных тем и выполнение отдельных видов работ в соответствии с приводимой ниже таблицей.

1	Посещение занятий	20 баллов - посещение <u>более</u> 85% аудиторных занятий, 10 баллов – 70% - 85%, 5 баллов - 45% - 69%; меньшее кол-во посещений не оценивается!
2	Контрольные мероприятия	До 30 баллов
	<i>Контрольная работа 1</i>	<i>До 10 баллов</i>
	<i>Контрольная работа 2</i>	<i>До 10 баллов</i>
	<i>Контрольная работа 3</i>	<i>До 10 баллов</i>
3	Выполнение заданий по дисциплине (самостоятельное решение задач) в течение семестра	До 20 баллов
4	Ответ на экзамене	до 30 баллов
5	Итого	До 100 баллов

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Эллиот Дж., Добер П. Симметрия в физике. В 2-х томах. - М.: Мир, 1982.
2. Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия. М.: Наука, 1979. (Гриф Минобразования)
3. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. М.: Наука, 1989. (гриф Минобразования)
4. Хаммермеш М. Теория групп и ее применения к физическим проблемам. М.: Мир, 1966.
5. Желобенко Д.П. Компактные группы Ли и их применения. М.: Наука, 1970.
6. Виленкин Н.Я. Специальные функции и теория представлений групп. М.: Наука, 1965. (II исправленное издание, 1992).
7. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. Введение в теорию квантованных полей. – М.: Наука, 1984.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – М.: Наука, 1973.
9. Богуш А. А., Мороз Л. Г. Введение в теорию классических полей. 2-е изд. М.: УРСС, 2004.
10. Вайнберг С. Космология. М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013.

Дополнительная

11. Шмутцер Э. Основные принципы классической механики и классической теории поля. – М.: Мир, 1976.
12. Новожилов Ю.В. Введение в теорию элементарных частиц. – М.: Наука, 1972.
13. Рамон П. Теория поля. Современный вводный курс. – М.: Мир, 1984.
14. Ахиезер А.И., Пелетминский С.В. Поля и фундаментальные взаимодействия. – Киев: Наукова думка, 1986.
15. Коноплева Н.П., Попов В.Н. Калибровочные поля. – М.: Атомиздат, 1980.
16. Ченг Т.-П., Ли Л.-Ф. Калибровочные теории в физике элементарных частиц. – М.: Мир, 1987.
17. Богуш А.А. Введение в полевую теорию элементарных частиц. – Минск: Наука и техника, 1981.
18. P. A. Carruthers - Introduction to Unitary Symmetry. NY: Cornell University (1966)
19. Румер Ю.Б., Фет А.И. Теория групп и квантованные поля. – М.: Наука, 1977.
20. Ляховский В.Д., Болохов А.А. Группы симметрии и элементарные частицы. Учебное пособие. – СПб: Изд-во СПбГУ, 2004.
21. Иваненко Д., Соколов А. Классическая теория поля (новые проблемы). 2-е изд. М. Л.: ГИТТЛ, 1951.
22. Любарский Г.Я. Теория групп и физика. – М.: Наука, 1986.
23. Барут А., Рончка Р. Теория представлений групп и ее приложения. Том 2. - М.: Мир, 1980.
24. Рубаков В.А. Классические калибровочные поля. – М.: Эдиториал УРСС, 1999.
25. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч., Борисов А.В. Квантовая электродинамика. – М.: Из-во МГУ, 1983.
26. Вайнберг С. Квантовая теория поля. Том 1. Общая теория. – М.: Физматлит, 2003.
27. R. Gilmore, Lie groups, physics and geometry. An introduction for physicists, engineers and chemists. Cambridge Univ. Press, 2008.
28. Степаньянц К.В. Классическая теория поля. - М.: Физматлит, 2009.
29. Radovanovic V. Problem Book in Quantum Field Theory. - Springer, 2008.
30. J. Schwichtenberg, Physics from Symmetry. Springer International Publishing, Switzerland. 2015.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины для организации самостоятельной работы студентов

1. Задачи по классической теории поля. Группы пространственно- временных симметрий: учеб. пособие / Б.В. Данилюк, М.В. Долгополов. - Самара: Изд-во «Универс. групп», 2011.
2. Горохов А.В., Принципы симметрии и квантовая динамика. 2015. Самара. Изд. СамГУ. – 220 с. ISBN 978-5-86465-680-8 (монография).
3. Горохов А.В. Методы теории групп в задачах квантовой физики. Изд. КуГУ, (Ч. 1, 1977, Ч.2, 1979, Ч.3, 1983). (Учебное пособие)
4. Горохов А.В. Теория относительности. Самара: Изд. «Универс групп», 2008.
5. Тексты заданий по дисциплине (условия задач и примеры их решений), выставленные на сайте Отдела дистанционных образовательных технологий СамГУ <http://dosamara.ru/moodle/>
6. <http://www.edu.ru/> — Федеральный портал Российское образование.
7. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> — электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
8. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского госуниверситета.
9. <http://www.phys.spbu.ru/library/elibrary/> — некоторые вузовские учебники (электронный вариант).
10. <http://www.sciencedirect.com> — база данных журналов издательства Эльзевир.
11. <http://prola.aps.org/> — архив журналов Американского физического общества
12. <http://xxx.lanl.gov> — архив электронных препринтов.

5.4. Рекомендуемые периодические издания

1. Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия.
2. Вестник Самарского государственного университета.
3. Теоретическая физика.