

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета

 С.Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.



Рабочая программа дисциплины

Классические поля

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная физика»

Форма обучения
Очная

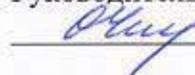
Квалификация
Бакалавр

Год приема
2021

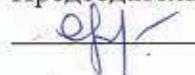
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.01.10

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюсина

Томск – 2021

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2– Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

ПК-1 – Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.2 –Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования .

ИПК 1.1 – Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить понятийный аппарат и методы классических полей.

– Научиться применять понятийный аппарат и методы классических полей для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Профессиональный модуль "Теоретическая и математическая физика".

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 7, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Дифференциальные уравнения, Квантовая механика, Методы математической физики.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 32 ч.;

–практические занятия: 32 ч.;

– в том числе практическая подготовка: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. *Унитарные неприводимые представления группы Пуанкаре.*

Унитарные неприводимые представления группы Пуанкаре. Реализация релятивистской симметрии в классической и квантовой теории. Краткие сведения о представлениях связных групп Ли. Группа Пуанкаре. Алгебра Пуанкаре. Операторы Казимира группы Пуанкаре и группы Лоренца. Метод Вигнера построения УНП группы Пуанкаре. Массивные УНП группы Пуанкаре. Безмассовые УНП группы Пуанкаре. Представления дискретных преобразований Пуанкаре..

Тема 2. *Релятивистские спинтензоры и спинтензорные поля.*

Спинорный гомоморфизм для собственной группы Лоренца и группы Пуанкаре.

Тема 3. *Представления группы Пуанкаре на спинтензорных полях.*

Уравнение Кляйна-Гордона. Реализация массивных УНП группы Пуанкаре на спинтензорных полях. Вещественные массивные УНП группы Пуанкаре. Уравнение Дирака. Реализация безмассовых УНП группы Пуанкаре на спинтензорных полях.

Дираковские спиноры.

Тема 4. *Лагранжев формализм.*

Принцип действия и уравнения движения. Глобальные и локальные симметрии классических полей. Теоремы Нётер. Тензоры энергии импульса и момента импульса. Токи и заряды, отвечающие внутренним симметриям.

Тема 5. *Модели классических релятивистских полей.*

Понятие и интерпретация модели классического поля. Модели скалярного поля. Лагранжиан спинорного поля. Эвристическая формулировка принципа перенормируемости. Лагранжианы свободного векторного поля. Модели спинорной и скалярной электродинамики. Неабелевы калибровочные поля (модель Янга-Миллса). Понятие о калибровочной формулировке гравитации. Модель линеаризованной гравитации.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится в форме проверки решений домашних задач и контрольных работ. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в 7 семестре проводится по экзаменационным билетам и состоит из четырех частей. За каждую часть выставляется оценка по пятибалльной шкале. Итоговая оценка есть взвешенное среднее в пропорции 2:1:1:2.

Первая часть представляет собой теоретическую контрольную работу с билетом из двух вопросов по теме 1, проверяющих сформированность компетенции ОПК-2 в соответствии с индикатором ИОПК 2.2. Ответы даются в развернутой форме. Примерный билет:

1. Генераторы представления группы Пуанкаре. Физическая интерпретация генераторов.
2. Понятие операторов Казимира. Использование операторов Казимира для классификации неприводимых представлений.

Вторая часть представляет собой теоретическую контрольную работу с билетом из трех вопросов по теме 2, проверяющих сформированность компетенции ПК-1 в соответствии с индикатором ИПК 1.1. Ответы даются в развернутой форме. Примерный билет:

1. Связь между группами Лоренца и $SL(2, \mathbb{C})$. Явная формула спинорного гомоморфизма.
2. Определение, закон преобразования ковариантного спинтензора типа (A, B) .
3. Комплексные локальные координаты в группе Лоренца.

Третья часть представляет собой теоретическую контрольную работу с билетом из одного вопроса по теме 4, проверяющих сформированность компетенции ОПК-2 в соответствии с индикатором ИОПК 2.2. Ответы даются в развернутой форме. Примерный билет:

1. Глобальные и локальные симметрии классических полей.

Четвертая часть является устным экзаменом с билетом из двух вопросов по темам 3, 5 и дополнительными вопросами по всему курсу, проверяющими сформированность компетенции ОПК-2 в соответствии с индикатором ИОПК 2.2. Ответы даются в развернутой форме. Примерный билет:

1. Модель спинорного поля.
2. Модель линеаризованной гравитации.

Примерные дополнительные вопросы:

Вопрос 1. Канонический тензор энергии-импульса.

Вопрос 2. Калибровочная симметрия.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Учебные материалы по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21892>

б) Банк задач для самостоятельного решения.

в) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Перечень вопросов по теме 1.

1. Как реализована группа релятивистской симметрии в квантовой теории? Что такое проективное представление? Почему в квантовой теории допустимы проективные представления групп симметрии? Типы проективных представлений собственной группы Пуанкаре.
2. Теорема Вигнера об (анти)унитарной реализации представления группы симметрии. Почему собственные преобразования Пуанкаре реализуются унитарными операторами?
3. Группы Ли. Генераторы представления группы Ли. Алгебра Ли группы Ли. От чего зависят структурные константы алгебры Ли группы Ли? Определение представления группы Ли генераторами.
4. Свойства генераторов унитарного представления группы Ли. Операторы представления абелевых подгрупп групп Ли.
5. Группа Пуанкаре. Физическая интерпретация. Закон умножения. Группа Лоренца.
6. Собственная, ортохронная и специальная подгруппы, компоненты связности группы Пуанкаре и группы Лоренца. Дискретные преобразования Лоренца.
7. Разложение преобразования Пуанкаре в произведение преобразования Лоренца и трансляции. Топология и размерность группы Лоренца и группы Пуанкаре.
8. Кососимметрические матрицы как локальные координаты в группе Лоренца. Локальные координаты в группе Пуанкаре.
9. Генераторы представления группы Пуанкаре. Физическая интерпретация генераторов.
10. Трансформационные свойства генераторов при преобразованиях Пуанкаре. Коммутационные соотношения в алгебре Пуанкаре.
11. Понятие операторов Казимира. Использование операторов Казимира для классификации неприводимых представлений.
12. Операторы Казимира группы Пуанкаре и группы Лоренца. Оператор Паули-Любанского, трансформационные свойства.
13. Метод Вигнера построения УНП группы Пуанкаре. Малые группы.
14. Трансформационные свойства одночастичных состояний.

15. Типы неприводимых представлений группы Пуанкаре, их физическая интерпретация.
16. Массивные УНП группы Пуанкаре: малая группа, базис состояний, собственные значения операторов Казимира, спин частицы.
17. Безмассовые УНП группы Пуанкаре: малая группа, базис состояний, собственные значения операторов Казимира. "Физические" и "нефизические" безмассовые УНП. Пуанкаре-инвариантное определение спиральности.
18. Почему пространственные отражения реализуются унитарными операторами, а отражения времени антиунитарными? Трансформационные свойства состояний при дискретных симметриях. Что такое внутренняя четность частицы? Понятие спина для безмассовой частицы.

Перечень вопросов по теме 2.

1. Связь между группами Лоренца и $SL(2, C)$. Явная формула спинорного гомоморфизма.
2. Свойства спинорного гомоморфизма.
3. Связь между неприводимыми представлениями группы Лоренца и группы $SL(2, C)$. Два типа неприводимых представлений группы Лоренца.
4. Определения, законы преобразования ковариантного и контравариантного левого вейлевского спинора.
Эквивалентные представления. Спинорные индексы. Чем отличаются точечные индексы от неточечных?
5. Определения, законы преобразования ковариантного и контравариантного правого вейлевского спинора.
Эквивалентные представлений. Спинорные индексы. Чем отличаются точечные индексы от неточечных?
6. Определение, закон преобразования ковариантного спинтензора типа (A, B) .
7. Подъем и опускание спинорных индексов. Инвариантность спинтензоров
8. Разложение спинтензора на симметричную и антисимметричную часть по паре индексов. Выделение неприводимых симметричных спинтензоров. Неприводимые представления типа $(A/2, B/2)$. Размерность представления типа $(A/2, B/2)$.
9. Вещественные спин-тензорные представления группы Лоренца.
10. Инвариантные спинтензоры
11. Правила конвертации лоренцевских индексов в спинтензоры. Примеры.
12. Конвертация спинтензорных индексов в лоренцевские для спинтензоров ранга (A, A) , $(A+1, A)$, $(A, A+1)$. Условия неприводимости.
13. Спинтензорное представление антисимметричного тензора второго ранга. Условие вещественности.
14. Комплексные локальные координаты в группе Лоренца.
15. "Спинорный" базис генераторов представления алгебры Лоренца. Связь со стандартным базисом.
16. Коммутационные соотношения и запись операторов Казимира алгебры Лоренца в "спинорном" базисе.
17. Дираковский спинор. Связь с вейлевскими спинорами.
18. Матрицы Дирака. Основное тождество для матриц Дирака.
19. Инвариантный смысл матрицы γ^5 . Построение лоренцевских ковариантов из дираковских спиноров.
20. Дираковски сопряженный спинор. Зарядово сопряженный спинор. Майорановский спинор.

Перечень вопросов по теме 4.

1. Принцип действия и уравнения движения.
2. Глобальные и локальные симметрии классических полей.
3. Первая теорема Н\`етер.
4. Вторая теорема Н\`етер.

5. Тензоры энергии импульса и момента импульса. Тензор Белифанте.

Токи и заряды, отвечающие внутренним симметриям.

Перечень вопросов по темам 3, 5.

- 1) Представления группы Пуанкаре на спинтензорных полях.
- 2) Уравнение Кляйна-Гордона.
- 3) Реализация массивных УНП группы Пуанкаре целого спина на спинтензорных полях.
- 4) Реализация массивных УНП группы Пуанкаре полуцелого спина на спинтензорных полях.
- 5) Вещественные массивные УНП группы Пуанкаре.
- 6) Уравнение Дирака.
- 7) Реализация безмассовых УНП группы Пуанкаре на спинтензорных полях.
- 8) Понятие и интерпретация модели классического поля.
- 9) Модели скалярного поля.
- 10) Модель спинорного поля.
- 11) Модель свободного векторного поля.
- 12) Модели спинорной и скалярной электродинамики.
- 13) Калибровочный принцип. Лагранжиан материи, взаимодействующей с полем Янга Миллса.
- 14) Лагранжиан поля Янга-Миллса.
- 15) Калибровочная формулировка гравитации.
- 16) Модель линеаризованной гравитации.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- подготовку к аттестации.

Для эффективного освоения дисциплины студентам рекомендуется:

- после лекции просмотреть и обдумать текст конспекта (15 минут);
- накануне следующей лекции вспомнить материал предыдущей (15 минут);
- изучение теоретического материала по пособию лектора, учебникам и конспекту (1 час в неделю);
- подготовка к практическому занятию (2 часа в неделю);
- работа с литературой (1 час в неделю).

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001, 784 стр.
2. С. Вайнберг. Квантовая теория поля. Москва: Физмлит, 2003. 648 с. Главы 2,7.
3. Дж. Д. Бьеркен, С.Д. Дрелл. Релятивистская квантовая теория. Том 1. Релятивистская квантовая механика. М.: Наука, 1978. 408 с.
4. К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер. *Квантовая теория поля* (в 2-х томах). М. Мир, 1984. 448+400 с. Главы 1,2.
5. Л. Райдер. Квантовая теория поля. М. Мир, 1987. 512 с.; Волгоград. Платон. 1998. 512 с. Главы 2,3.
6. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Квантовая электродинамика. М.: Наука, 1989. 723 с. Главы I-III

7. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. *Введение в теорию квантованных полей*//М. Наука. 1973. 416 с. Глава I.
8. Н.Н. Боголюбов, А.А. Логунов, И.Т. Годоров. Основы аксиоматического подхода в квантовой теории поля. М.: Наука. 1969. 424 с.
9. С. Швебер. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля. М.: Ин.лит. 1963. 842 с. Часть I.
11. В.Д. Ляховский, А.А. Болохов, Группы симметрии и элементарные частицы. Ленинград: ЛГУ. 1983. 336 с. Главы 8,9.
12. Горбунов И.В. Каратаева И.Ю. Представления релятивистской симметрии в квантовой теории поля (учебное пособие) Лекционные заметки по теоретической и математической физике/ Под ред. проф. А.В. Аминовой, Т. 9. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2009. С. 9 - 172.

б) дополнительная литература:

1. Г. Я. Любарский. Теория групп и ее применение в физике: курс лекций для физиков-теоретиков. Москва: Ленанд, 2014. 354 с.
2. В. А. Рубаков. Классические калибровочные поля. Москва: Эдиториал УРСС, 1999. 336 с.
3. И.М. Гельфанд, В.А. Минлос, З.Я. Шапиро. Представления группы вращений и группы Лоренца. М.: Физ.-мат.лит. 1958. 368 с.
4. М.А. Наймарк. Линейные представления группы Лоренца. М.: Физ.мат.лит. 1958. 376 с.
5. Е. Вигнер. Этюды о симметрии. М.: Наука. 1971. 318 с.

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX;

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Каратаева Инна Юрьевна, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра теоретической физики физического факультета ТГУ.