

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан
С. Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

Принципы квантовой теории поля

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
Фундаментальная и прикладная физика

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.Н. Чайковская

Председатель УМК
Ю.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1 Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости

ИПК-1.2 Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать

2. Задачи освоения дисциплины

- Освоить понятийный аппарат и методы квантовой теории поля.
- Научиться применять понятийный аппарат и методы квантовой теории поля для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

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

Второй семестр, зачет с оценкой

5. Входные требования для освоения дисциплины

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

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен владеть методами математической физики, классической теория поля, релятивистской механики.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

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

-лекции: 24 ч.

-практические занятия: 24 ч.

– в том числе практическая подготовка: 24 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Введение в предмет. Метод канонического квантования. Естественная система единиц.

Достижения и проблемы релятивистской квантовой теории поля. Каноническое квантование бозевских релятивистских моделей.

Тема 2. Состояния in и out. Уравнение Липпмана – Швингера. S- матрица.

Постановка задачи рассеяния. Вывод уравнений Липпмана-Швингера. Определение S-матрицы.

Тема 3. Унитарность, пуанкаре-инвариантность и внутренние симметрии S-матрицы.

Формальное доказательство унитарности S-матрицы. Закон преобразования элементов S-матрицы под действием преобразований Пуанкаре. Закон преобразования элементов S-матрицы под действием внутренних симметрий.

Тема 4. Сечения и вероятности. Оптическая теорема. Н-теорема Больцмана. Операторы рождения и уничтожения.

Связь S-матрицы с сечением рассеяния. Доказательство оптической теоремы.

Доказательство Н-теоремы Больцмана для разреженного газа частиц. Тождественность частиц. Определение операторов рождения-уничтожения.

Тема 5. Связные амплитуды и принцип кластерного разложения. Теория возмущений для S-матрицы. Принцип микропричинности.

Определение связной части S-матрицы. Формулировка принципа кластерного разложения. Доказательство критерия выполнения принципа кластерного разложения. Построение ряда теории возмущений для S-матрицы.

Тема 6. Реализация релятивистской симметрии на квантованных полях. Античастицы как следствие микропричинности.

Квантовые поля как базис для построения релятивистской квантовой теории поля. Положительно и отрицательно-частотные части квантового поля. Античастицы.

Тема 7. Квантованное скалярное поле.

Построение квантовой теории скалярного поля.

Тема 8. Квантованное комплексное скалярное поле.

Построение квантовой теории комплексного скалярного поля. Заряд.

Тема 9. Квантованное спинорное поле.

Построение квантовой теории спинорного поля.

Тема 10. Квантованные поля произвольного спина. Теорема о связи спина и статистики.

Построение квантовой теории поля произвольного спина. Доказательство теоремы о связи спина и статистики.

Тема 11. Каноническое квантование электромагнитного поля по Гупта – Блейеру.

Построение квантовой теории безмассового поля спина 1. Калибровочная инвариантность.

Тема 12. Правила Фейнмана. Диаграммы Фейнмана в координатном представлении.

Вывод правил Фейнмана в координатном представлении. Комбинаторные и знаковые множители.

Тема 13. Фейнмановские пропагаторы. Правила Фейнмана в импульсном представлении.

Вывод явного выражения для фейнмановского пропагатора поля произвольного спина.

Вывод правил Фейнмана в импульсном представлении.

Тема 14. Классификация фейнмановских диаграмм.

Топологические свойства диаграмм Фейнмана.

Тема 15. Примеры расчетов S-матрицы в древесном приближении.

Древесная амплитуда перехода для процесса два в два.

Тема 16. Правила Фейнмана при наличии источников. Корреляционные функции.

Правила Фейнмана для вычисления функций Грина. Корреляционные функции.

Вычисление элементов S-матрицы с помощью корреляционных функций. Производящий функционал функций Грина. Производящий функционал связных функций Грина. Производящий функционал вершинных функций Грина (эффективное действие).

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения контрольных работ, заданий и тестов по материалам курса, и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение контрольных заданий – 40, тестов – 10. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет с оценкой во втором семестре проводится в устной форме по экзаменационным билетам.

Результаты зачета с оценкой определяются оценкой, исходя из результатов ответов на зачет с оценкой (60%) и текущей аттестации в течение семестра (40%) в соответствии с балльной шкалой оценивания: количество набранных баллов более 80 — «отлично», от 65 до 79 — «хорошо», от 50 до 64 — «удовлетворительно, менее 50 баллов — «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет состоит из двух частей.

Первая часть содержит основной вопрос, проверяющий сформированность компетенции ИПК 1.1 в соответствии с индикатором ИОПК 2.2. Ответы даются в развернутой форме, включая практические задачи.

Вторая часть содержит дополнительный вопрос из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющий соответствие индикатору достижения компетенции ИОПК 2.2. Ответ на вопрос второй части дается в краткой форме, включающей краткую интерпретацию полученных результатов.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронные учебные курсы по дисциплине в электронном университете «Moodle»: <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21962>

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

в) План семинарских занятий по дисциплине.

г) Банк задач для самостоятельного решения по темам практических занятий.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. С. Вайнберг. Квантовая теория полей (в 3-х томах). Т.1-2//пер с англ. под ред. Б.Л. Воронова, 2001 г; электронная версия; пер с англ. под ред. В.Ч. Жуковского, М., Физматлит. 2003 г. 648 с.
2. М. Пескин, Д. Шредер. Введение в квантовую теорию поля//Москва-Ижевск. РХД (Регулярная и хаотическая динамика). 2001. 784 с.
3. К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер. Квантовая теория поля (в 2-х томах)//М. Мир. 1984. 448+400 с.
4. Л. Райдер. Квантовая теория поля//М. Мир. 1987. 512 с.; Волгоград. Платон. 1998. 512 с.
5. Дж. Д. Бьеркен, С.Д. Дрелл. Релятивистская квантовая теория. Том 2. Релятивистские квантовые поля//М. Наука. 1978. 408 с.

6. П. Рамон. Теория поля//М. Мир. 1984. 332 с.; М. Бибфизмат. 1995. 332 с.
- б) дополнительная литература:
 1. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. Введение в теорию квантованных полей//М. Наука. 1973. 416 с.
 2. Н.Н. Боголюбов, А.А. Логунов, И.Т. Тодоров. Основы аксиоматического подхода в квантовой теории поля//М. Наука. 1969. 424 с.
 3. Б.С. Девитт. Динамическая теория групп и полей//М. Наука. 1987. 288 с.
 4. W. Siegel. Fields.//<http://xxx.lanl.gov/e-print/hep-th/9912205>. 738 p.
 5. А.Н. Кушниренко. Введение в квантовую теорию поля//М. Высшая школа. 1983. 319 с.
 6. С. Швебер. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля//М. Ин.лит. 1963. 842 с.
 7. П.А.М. Дирак. Лекции по квантовой теории поля//М. Мир. 1971. 243 с.; М. Меркурий-ПРЕСС. 2000. 242 с.
 8. В. Паули. Общие принципы волновой механики//Москва-Ленинград. ОГИЗ. 1947. 332 с.
 9. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Квантовая электродинамика//М. Наука. 1989. 723 с.
 10. А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий. Квантовая электродинамика//М. Наука. 1981. 432 с.
 11. В.Н. Грибов. Квантовая электродинамика//Москва-Ижевск. РХД. 2001. 288 с.
 12. Р. Фейнман. Квантовая электродинамика//М. Мир. 1964. 219 с.; Новокузнецк. НФМИ. 2000. 218 с.
 13. Р. Фейнман. Теория фундаментальных процессов//М. Наука. 1978. 199 с.
 14. Г.А. Сарданашвили. Современные методы теории поля (в 4-х томах)//М. УРСС. 1996-1999. 4+167+214+ с.
 15. Дж. Коллинз. Перенормировка//М. Мир. 1988. 446 с.
 16. John Collins. The problem of scales: renormalization and all that//<http://xxx.lanl.gov/e-print/hep-ph/9510276>. 52 p.
 17. О.И. Завьялов. Перенормированные диаграммы Фейнмана//М. Наука. 1979. 317 с.
- в) ресурсы сети Интернет:

<http://arxiv.org> База электронных препринтов: разделы hep-th, hep-ph, qr-qc.

<http://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/qft.html>. Кэмбриджские лекции по квантовой теории поля.

<https://www.physics.harvard.edu/events/videos/Phys253>. Гарвардские лекции С. Колмена по квантовой теории поля.

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.

Аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате, оснащенные системой («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Казинский Петр Олегович, доктор физико-математических наук, доцент, кафедра квантовой теории поля физического факультета ТГУ, профессор.