

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан физического факультета  
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

**Квантовая электродинамика**

по направлению подготовки

**03.04.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**«Фундаментальная и прикладная физика»**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

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:

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

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.

ИПК-1.3 Владеет навыками аналитической переработки информации, проведения исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий, обобщения и представления результатов, полученных в процессе решения задач исследования.

## **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 (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

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

Семестр 1, 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 основными понятиями квантовой теории поля, методами математической физики, методами квантования систем со связями.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

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

– лекции: 16 ч.;

– практические занятия: 16 ч.;

– в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Введение. Сечение рассеяния. Борновское приближение.

Вывод формулы, связывающей инвариантную амплитуду рассеяния с дифференциальным сечением в системе центра масс. Борновский ряд.

Тема 2. Правила Фейнмана квантовой электродинамики.

Формулировка правил Фейнмана КЭД для  $S$ -матрицы в фейнмановской калибровке. Вывод свободного пропагатора фотона.

Тема 3. Кулоновский потенциал.

Рассеяние электрона на электроне в нерелятивистском пределе. Кулоновский потенциал.

Тема 4. Техника проекционных операторов. Следы гамма-матриц.

Энергетические и спиновые проекционные операторы. Свойства гамма-матриц.

Тема 5. Правила Каткоского и оптическая теорема.

Правила Каткоского на примере амплитуды рассеяния электрона на электроне. Доказательство оптической теоремы.

Тема 6. Аннигиляция электрон-позитронной пары в мюонную. Неполяризованные пучки.

Вычисление дифференциального сечения рассеяния аннигиляция электрон-позитронной пары в мюонную для неполяризованных пучков.

Тема 7 Аннигиляция электрон-позитронной пары в мюонную. Поляризованные пучки.

Вычисление дифференциального сечения рассеяния аннигиляция электрон-позитронной пары в мюонную для неполяризованных пучков в ультрарелятивистском пределе.

Тема 8. Кроссинг-симметрия. Примеры.

Доказательство кроссинг-симметрии амплитуд КТП. Примеры.

Тема 9. Мандельштамовские переменные

Определение мандельштамовских переменных и их свойства.

Тема 10. Комптоновское рассеяние. Суммирование по поляризациям фотонов. Тождество Уорда.

Вывод амплитуды комптоновского рассеяния. Суммирование по поляризациям фотонов вероятности перехода для произвольного процесса КЭД.

Тема 11. Комптоновское рассеяние. Формула Клейна-Нишины-(Тамма).

Вывод дифференциального сечения комптоновского рассеяния в лабораторной системе отсчета.

Тема 12. Аннигиляция пар в фотоны.

Вывод дифференциального сечения аннигиляции электрон-позитронной пары в два фотона

Тема 13. БРСТ-квантование электромагнитного поля.

БФВ-квантование свободного электромагнитного поля в  $R$  кси калибровке. Построение БРСТ-заряда. Физические величины и состояния в фейнмановской калибровке.

Тема 14. Зарядовое сопряжение и теорема Фарри.

Определение зарядового сопряжения. Доказательство теоремы Фарри.

Тема 15. Сохранение заряда и тождества Уорда-Такахаша.

Доказательство обобщенных тождеств Уорда-Такахаша.

Тема 16. Полные электронные и фотонный пропагаторы. Условия нормировки и калибровочная инвариантность.

Общие свойства полных электронного и фотонного пропагатора. Условия нормировки и калибровочная инвариантность. Вычисление однопетлевой поправки к электронному и фотонному пропагаторам. Инфракрасные расходимости.

Тема 17. Полная вершина КЭД. Электромагнитные форм-факторы и аномальный магнитный момент электрона.

Определение полной вершины в КЭД. Физическая интерпретация форм-факторов. Вычисление однопетлевой поправки к полной вершине в КЭД.

## 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. 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 в 1 семестре** проводится в устной форме по билетам.

Результаты зачета определяются оценкой, исходя из результатов ответов на экзамене (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».

Билет состоит из двух частей.

Первая часть содержит основной вопрос, проверяющий сформированность компетенций ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК-1.3. 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 компетенций ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК-1.3. 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=25865>

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

в) План семинарских занятий по дисциплине.

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

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. L.S. Brown, Quantum Field Theory. -- Cambridge: University Press, 1992. -- 542 p.
2. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. т.1. Общая теория. -- М.: Физматлит, 2003. -- 648 с.
3. Дж. Бьёркен, С. Дрелл, Релятивистская квантовая теория. т. 1. Релятивистская квантовая механика. -- Н.: ИО НФМИ, 2000. -- 296 с.
4. К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер, Квантовая теория поля. т. 1. -- М.: Мир, 1984. -- 448 с.
5. А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий, Квантовая электродинамика. т. 1. -- М.: Физматлит, 1981. -- 428 с.
6. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский, Квантовая электродинамика. -- М.: Физматлит, 1989. -- 728 с.
7. М.Е. Пескин, Д.Е. Шрёдер, Введение в квантовую теорию поля. -- Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая механика", 2001. -- 784 с.

8. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков, Введение в теорию квантованных полей. -- М.: Физматлит, 1984. -- 600 с.
9. M. Henneaux, C. Teitelboim, Quantization of Gauge Systems. -- Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1992. -- 521 p.

б) дополнительная литература:

1. V.G. Bagrov, D.M. Gitman, Exact Solutions of Relativistic Wave Equations, (Kluwer Acad. Pub., Dordrecht, 1990).
2. Д.М. Гитман, Е.С. Фрадкин, Ш.М. Шварцман, Квантовая электродинамика с нестабильным вакуумом. – М.: Физматлит, 1989. – 296 с.
3. Е.М. Лившиц, Л.П. Питаевский, Статистическая физика. ч. 2. Теория конденсированного состояния. – М.: Физматлит, 2004. – 496 с.
4. B.S. DeWitt, Quantum field theory in curved spacetime, Phys. Rep. **19**, 295 (1975).
5. M. Antezza, L.P. Pitaevskii, S. Stringari, V.B. Svetovoy, Casimir-Lifshitz force out of thermal equilibrium, Phys. Rev. A **77**, 022901 (2008).
6. B.S. DeWitt, The Global Approach to Quantum Field Theory. Vol. 1 and 2 (Claredon Press, Oxford, 2003).
7. D.V. Vassilevich, Heat kernel expansion: user's manual, Phys. Rep. **388**, 279 (2003), hep-th/0306138.

в) ресурсы сети Интернет:

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

<http://chair.itp.ac.ru/biblio/lectures/qedn.pdf> Лекции по квантовой электродинамике, читаемые в МФТИ.

[https://www.physik.uni-muenchen.de/lehre/vorlesungen/wise\\_14\\_15/TVI\\_TMP-TB1\\_-\\_Quantum-Electrodynamics/vorlesung/index.html](https://www.physik.uni-muenchen.de/lehre/vorlesungen/wise_14_15/TVI_TMP-TB1_-_Quantum-Electrodynamics/vorlesung/index.html). Лекции по квантовой электродинамике, читаемые в университете Людвиг-Максимилиана, Мюнхен.

### 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 OneNote, 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.