

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Квантовая электродинамика

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
О.М. Сюсина

Томск – 2025

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. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля: контрольная работа (ИОПК 1.1, ИОПК 1.2).

По дисциплине «Квантовая теория поля» предусмотрена одна контрольная работа (ИОПК 1.1, ИОПК 1.2).

Пример билета контрольной работы по теме «Правила Фейнмана в квантовой электродинамике».

Вывести явное выражение для пропагатора фотона в фейнмановской калибровке.

Ключ: $\int \frac{d^4 p}{(2\pi)^4} \frac{-i \eta_{\mu\nu}}{p^2 + i0} e^{-ip(x-y)}$.

Критерии оценивания: результаты каждой контрольной работы определяются оценками по четырех бальной системе. Оценка «отлично» выставляется, если студент предъявляет правильные письменные решения всех задач. Оценка «хорошо» выставляется, если в предъявляемом решении имеется не более двух ошибок и идея решения всех задач правильная. Оценка «три» выставляется, если в предъявляемом ответе не выполнены указанные выше критерии, но указана правильная идея решения для большей части задач. В противном случае выставляется оценка «неудовлетворительно».

Для углубленного изучения курса по основным разделам курса студентам предлагаются темы для рефератов (ОПК-1, ИОПК 1.1, ИОПК 1.2).

Темы для рефератов и учебно-методическая литература для самостоятельной работы по разделам дисциплины «Квантовая электродинамика»:

Тема 1. Эффект Казимира.

Литература:

1. Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский, Статистическая физика. ч. 2. Теория конденсированного состояния. – М.: Физматлит, 2004. – 496 с.
2. B.S. DeWitt, Quantum field theory in curved spacetime, Phys. Rep. **19**, 295 (1975).
3. M. Antezza, L.P. Pitaevskii, S. Stringari, V.B. Svetovoy, Casimir-Lifshitz force out of thermal equilibrium, Phys. Rev. A **77**, 022901 (2008).
4. G.L. Klimchitskaya, U. Mohideen, V.M. Mostepanenko, The Casimir force between real materials: experiment and theory, Rev. Mod. Phys. **81**, 1827 (2009).

Тема 2. Квантовая электродинамика в интенсивных внешних полях.

Литература:

1. Д.М. Гитман, Е.С. Фрадкин, Ш.М. Шварцман, Квантовая электродинамика с нестабильным вакуумом. – М.: Физматлит, 1991. – 296 с.

2. М. Е. Пескин, Д. Е. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая механика”, 2001. – 784 с.
3. И.М. Тернов, В.Ч. Жуковский, А.В. Борисов, Квантовые процессы в сильном внешнем поле. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1989. – 192 с.

Тема 3. Квантовая электродинамика в окрестности черных дыр. Эффект Хокинга.

Литература:

1. B.S. DeWitt, Quantum field theory in curved spacetime, Phys. Rep. **19**, 295 (1975).
2. B.S. DeWitt, The Global Approach to Quantum Field Theory, Vol. 1,2. – Oxford: Clarendon Press, 2003. – 1042 p.
3. А.А. Гриб, С.Г. Мамаев, В.М. Мостепаненко, Вакуумные квантовые эффекты в сильных полях. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
4. Н. Биррелл, П. Девис, Квантованные поля в искривленном пространстве-времени. – М.: Мир, 1984. – 356 с.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

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.

Примерный перечень теоретических вопросов

Вопрос 1. Комптоновское рассеяние. Суммирование по поляризациям фотонов.

Тождество Уорда.

Дополнительные вопросы.

Вопрос 1. Что такое кроссинг-симметрия.

Вопрос 2. Из каких соображений выводятся тождества Уорда.

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.

Открытый перечень вопросов, выносимых на экзамен в 1 семестре.

1. Сечение рассеяния. Борновское приближение.
2. Правила Фейнмана квантовой электродинамики.
3. Кулоновский потенциал.
4. Техника проекционных операторов. Следы гамма-матриц. Пример.
5. Правила Катковского и оптическая теорема.
6. Аннигиляция электрон-позитронной пары в мюонную. Неполяризованные пучки.
7. Аннигиляция электрон-позитронной пары в мюонную. Поляризованные пучки.
8. Кроссинг-симметрия. Примеры. Мандельштамовские переменные.
9. Комптоновское рассеяние неполяризованных фотонов и электронов.
10. Аннигиляция пар в фотоны.

11. БРСТ-квантование электромагнитного поля.
12. Зарядовое сопряжение и теорема Фарри.
13. Сохранение заряда и тождества Уорда-Такахаси.
14. Полный фермионный пропагатор. Условия нормировки.
15. Полный фотонный пропагатор. Калибровочная инвариантность и условия нормировки.
16. Полная вершина КЭД. Электромагнитные форм-факторы и аномальный магнитный момент электрона.

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Задача: Записать оператор заряда в терминах операторов рождения-уничтожения.

Ответ: $Q = -e \sum_s \int d^3p (a^{\dagger}(s,p) a(s,p) - b^{\dagger}(s,p) b(s,p))$

Теоретические вопросы (ИОПК 1.1, ИОПК 1.2):

1. Как выглядит полная вершина в квантовой электродинамике.
2. Как выглядит полный пропагатор дираковских фермионов в квантовой электродинамике
3. Как выглядит полный пропагатор фотона в квантовой электродинамике.
4. Какова физическая интерпретация форм-факторов в полной вершине.
5. Какова физическая интерпретация поляризационного оператора.
6. Какова физическая интерпретация массового оператора.
7. Как выглядят тождества Уорда в квантовой электродинамике.
8. О чем говорит теорема Фарри.
9. Нарисовать все диаграммы до порядка e^2 включительно, задающие амплитуду рассеяния электрона на электроном.
10. Какие диаграммы задают амплитуду комптоновского рассеяния.
11. Что такое кроссинг-симметрия.

5. Информация о разработчиках

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