

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Основы квантовой электродинамики

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. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

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

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.

Контрольная работа (ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК.-1-3)

Контрольная работа состоит из 3 теоретических вопросов.

Перечень теоретических вопросов:

1. В чем заключается типичная постановка эксперимента в квантовой электродинамике?
2. Почему для описания квантовой электродинамики плохо подходит операторный метод нерелятивистской квантовой механики?
3. Напишите Лагранжиан для свободного электромагнитного поля. Выпишите первую и вторую пару уравнений максвелла в ковариантной форме.
4. Напишите решение уравнения Максвелла для свободного электромагнитного поля в калибровке Лоренца.
5. Выпишите коммутационные соотношения между операторами рождения и уничтожения.
6. Что такое калибровочные преобразования?
7. Что такое пропагатор фотонного поля?
8. Напишите уравнение Паули, уравнение Клейна-Гордона, уравнение Дирака?
9. Как выглядят гамма-матрицы в стандартном представлении Паули-Дирака?
10. Какая существует связь между решением уравнения Дирака для античастиц с положительной энергией и решением уравнения Дирака для частиц с отрицательной энергией?
11. Напишите Лагранжиан для свободного дираковского поля.
12. В чем заключаются представления Шредингера, Гейзенберга и взаимодействия в КЭД?
13. Запишите полный Лагранжиан КЭД.
14. Сформулируйте теорему Фарри.
15. Сформулируйте правила Фейнмана.
16. Дайте определение вероятности перехода в единицу времени?
17. Что такое ширина распада и сечение реакции?

18. Дайте определение понятию мандельстановские переменные?
19. Нарисуйте диаграммы Фейнмана для эффекта Комптона?
20. Напишите выражение для сечения рассеяния эффекта Комптона?
21. Напишите выражение для сечения рассеяния эффекта Комптона в нерелятивистском и ультрарелятивистском случаях?
22. Нарисуйте диаграмму Фейнмана для аннигиляции электрон-позитронной пары (получить уточняющий вопрос)?
23. Напишите выражение для сечения рассеяния аннигиляции электрон-позитронной в мюоны.

Критерии оценивания:

Результаты контрольной работы определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется, если даны правильные ответы на более чем 50% теоретических вопросов.

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

Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов, проверяющих ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК.-1-3.

Перечень теоретических вопросов:

1. Лагранжев подход для уравнений Максвелла.
2. Тензор напряженности электромагнитного поля.
3. Квантование магнитного поля как набора гармонических осцилляторов.
4. Калибровка Лоренца для квантового электромагнитного поля.
5. Калибровочные преобразования и вектора поляризации.
6. Коммутационные соотношения для операторов электромагнитного поля.
7. Пропагатор фотонного поля.
8. Уравнение Клейна-Гордона.
9. Уравнение Дирака.
10. Алгебра матриц Дирака.
11. Преобразование Фолди-Вутхайзера.
12. Лагранжиан свободного дираковского поля. Введение взаимодействия с электромагнитным полем.
13. Теорема Фарри.
14. S-матрица.
15. Теорема Вика.
16. Правила Фейнмана.
17. Мандельстамовские переменные.
18. Кросс-каналы.
19. Вычисления для эффекта Комптона $e^- \gamma \rightarrow e^- \gamma$
20. Рассеяние электрона на ядре.
21. Аннигиляция электрон-позитронной пары.

Критерии оценивания:

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется, если даны правильные, развернутые ответы на все теоретические вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если даны правильные ответы на все теоретические вопросы, но в ответах имеются неточности.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если дан правильный ответ на один теоретический вопрос, а на другой вопрос дан неправильный ответ или ответ отсутствует.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если на оба теоретических вопроса даны неправильные ответы или ответы отсутствуют.

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

Тест (ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК.-1-3.)

1. Какому свойству удовлетворяет тензор электромагнитного поля?
 - а) эрмитовость
 - б) антисимметричность
 - в) симметричность
2. Калибровка Лоренца для 4-потенциала имеет вид:
 - а) $\partial_\mu F^{\mu\nu}=0$
 - б) $\partial_\mu A^\mu=0$
 - в) $\partial_\mu \partial^\mu A^\nu=0$
3. Коммутатор операторов рождения (или уничтожения) равен:
 - а) 0
 - б) 1
 - в) $\eta^{\mu\nu}$
4. Функция распространения или причинная функция Грина это:
 - а) коммутатор
 - б) пропагатор
 - в) вакуумное среднее
5. Чем отличаются частицы и античастицы?
 - а) массой
 - б) спином
 - в) временем жизни
 - г) зарядом
6. Какая матрица Дирака из перечисленных является эрмитовой?
 - а) γ^0
 - б) γ^1
 - в) γ^2
 - г) γ^3
7. Какие биспиноры входят в Лагранжиан свободного дираковского поля кроме биспинора $\psi(x)$?:
 - а) $\psi^c(x)$
 - б) $\psi^*(x)$
 - в) $\bar{\psi}(x)$
 - г) $\psi^0(x)$
8. Вероятность распада в единицу времени
 - а) пропорциональна времени жизни наблюдаемой частицы в системе покоя
 - б) обратно пропорциональна времени жизни наблюдаемой частицы в системе покоя
 - в) не зависит от времени жизни наблюдаемой частицы в системе покоя
9. Сколько существует топологически различных диаграмм Фейнмана для эффекта Комптона?
 - а) 1
 - б) 2
 - в) 3
 - г) 4

10. «В любом процессе, который идет за счет электромагнитного взаимодействия в пространстве без внешнего классического поля, суммарное число начальных и конечных фотонов должно быть четным» – это

- а) правило Фейнмана
- б) теорема Вика
- в) теорема Фарри

Ключи: 1 б); 2 б); 3 а); 4 б); 5 г); 6 а); 7 в); 8 б); 9 б); 10 в)

Информация о разработчиках

Богданов Олег Викторович, доктор физико-математических наук, доцент, лаборатория анализа данных физики высоких энергий, ведущий научный сотрудник