

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 теория 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
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 «Функциональный интеграл для производящего функционала функций Грина».

Найти гауссов функциональный интеграл:

$$\int_D \phi \exp(i/2 \phi A \phi + i J \phi)$$

Ключ: $\det^{-1/2}(A) \exp(-i/2 J A^{-1} J)$

Критерии оценивания: результаты каждой контрольной работы определяются оценками по четырех бальной системе. Оценка «отлично» выставляется, если студент предьявляет правильные письменные решения всех задач. Оценка «хорошо» выставляется, если в предьявляемом решении имеется не более двух ошибок и идея решения всех задач правильная. Оценка «три» выставляется, если в предьявляемом 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 теория поля»:

Тема 1. Аннигиляция электрон-позитронной пары в адроны.

Литература:

1. L. S. Brown, Quantum Field Theory. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 542 p.

2. М. Е. Пескин, Д. Е. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая механика”, 2001. – 784 с.

3. Л.Б. Окунь, Лептоны и кварки. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 352 с.

4. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современный приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.

5. R. Ticciati, Quantum Field Theory for Mathematicians. – Cambridge: Cambridge University Press, 1999. – 699 p.

Тема 2. Процессы глубоконеупругого рассеяния в КХД.

Литература:

1. М. Е. Пескин, Д. Е. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая механика”, 2001. – 784 с.
2. L. S. Brown, Quantum Field Theory. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 542 p.
3. J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein, Dynamics of the Standard Model. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 536 p.
4. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современный приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.

Тема 3. Массы калибровочных бозонов в теории электрослабого взаимодействия.

Литература:

1. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современные приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.
2. М. Е. Пескин, Д. Е. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая механика”, 2001. – 784 с.
3. Л.Б. Окунь, Лептоны и кварки. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 352 с.
4. J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein, Dynamics of the Standard Model. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 536 p.
5. В.М. Емельянов, Стандартная модель и ее расширения. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.

Тема 4. Понятие об аномалиях. Сокращение аномалий в теории электрослабого взаимодействия.

Литература:

1. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современный приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.
2. М. Е. Пескин, Д. Е. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая механика”, 2001. – 784 с.
3. В.М. Емельянов, Стандартная модель и ее расширения. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.
4. J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein, Dynamics of the Standard Model. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 536 p.

Тема 5. Объединение теории электрослабых и сильных взаимодействий.

Литература:

1. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современный приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.
2. М. Е. Пескин, Д. Е. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая механика”, 2001. – 784 с.
3. Л.Б. Окунь, Лептоны и кварки. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 352 с.
4. J.F. Donoghue, E. Golowich, B.R. Holstein, Dynamics of the Standard Model. – Cambridge: Cambridge University Press, 1992. – 536 p.
5. В.М. Емельянов, Стандартная модель и ее расширения. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.

Тема 6. Инстантонное исчисление.

Литература:

1. С. Вайнберг, Квантовая теория поля. Т. 2. Современный приложения. – М.: Физматлит, 2003. – 528 с.
2. J. Zinn-Justin, The principles of instanton calculus // in Recent Advances in Field Theory and Statistical Mechanics, J.-B. Zuber and R. Stora, eds., Les Houches, Session XXXIX. -- 1982. – P. 40-172.
3. Large-Order Behaviour of Perturbation Theory // in Current Physics – Sources and Comments, J.-C. Le Guillou, J. Zinn-Justin, eds., 1990. – 580 p.

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

Экзамен в 1 семестре проводится в устной форме по экзаменационным билетам.

Результаты экзамена 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».

Экзаменационный 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. Структура полюсов функции Грина. Перенормировка поля и массы.

Вопрос 2. Метод Фаддеева-Попова. Духи Фаддеева-Попова. Правила Фейнмана в модели Янга-Миллса.

Дополнительные вопросы.

Вопрос 1. Интегрирование в алгебре Березина.

Вопрос 2. Дать определение суперперенормируемых теорий.

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 I семестре.

1. Представление амплитуд переходов функциональным интегралом в моделях с бозевскими полями. Представление Баргманна-Фока.
2. Функциональный интеграл для производящего функционала функций Грина бозевских полей.
3. Алгебра и анализ с антикоммутирующими переменными.
4. Функциональный интеграл для производящего функционала функций Грина фермиевских полей.
5. Петлевое разложение эффективного действия.
6. Квантование калибровочных теорий специального вида. Метод Фаддеева-Попова.
7. БРСТ-симметрия производящего функционала функций Грина в методе Фаддеева-Попова. Независимость наблюдаемых от выбора калибровки.
8. Структура полюсов функции Грина, перенормировка поля и массы (на примере теории $\lambda\phi^4$).
9. Устранение двухпетлевых ультрафиолетовых расходимостей в теории $\lambda\phi^4$. Общая процедура построения перенормированной теории возмущений. Основные теоремы теории перенормировок в квантовой теории поля.
10. Общая процедура построения перенормированной теории возмущений. Основные теоремы теории перенормировок в квантовой теории поля. Суперперенормируемые, перенормируемые и неперенормируемые теории. Релятивистски-инвариантные перенормируемые теории в $D=4$.

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

Задача: Записать связь между эффективным действием и производящим функционалом связанных функций Грина.

Ответ: $\Gamma[\phi] = W[J] - \phi J$, где J находится из уравнения $\phi = \delta W / \delta J$.

Теоретические вопросы (ИОПК 1.1, ИОПК 1.2):

1. Дать определение когерентных состояний в квантовой теории поля.
2. Какие модели квантовой теории поля являются перенормируемыми по индексу.
3. Указать следствия БРСТ-симметрии для производящего функционала функций Грина в калибровочных теориях специального вида.
4. Какие модели называются калибровочными.
5. Какие теории называются калибровочными теориями специального вида.
6. Указать основные свойства интеграла Березина.
7. Что такое физические условия нормировки.
8. Что такое алгебра Грассмана.
9. Как записывается в терминах функционального интеграла n -точечная функция Грина.
10. Записать явное выражение для однопетлевой поправки к эффективному действию.

5. Информация о разработчиках

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