



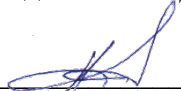
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)
ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ШКОЛА)

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП ДТФИТ

И.о. зам. директора по учебной и
методической работе ИНТПМ



(подпись)

Нефедев К.В.

(ФИО.)





(подпись)

Красицкая С.Г.

(ФИО.)

21 января 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Квантовая теория поля»

Направление подготовки 03.03.02 Физика

«Экспериментальная физика»

Форма подготовки очная

курс 4 семестр 7

лекции 34 час.

практические занятия 48 час.

лабораторные работы не предусмотрены

в том числе с использованием МАО лек. 0 /пр. 18 /лаб. 0 час.

всего часов аудиторной нагрузки 82 час.

в том числе с использованием МАО 18 час.

самостоятельная работа 62 час.

в том числе на подготовку к экзамену 36 час.

контрольные работы (7)

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет не предусмотрен

экзамен 7 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 7 августа 2020 г. № 891

Рабочая программа обсуждена на заседании Департамента теоретической физики и наукоемких технологий, протокол № ___ от «___» _____ 2022 г.

Директор департамента д. ф.-м. н, профессор Нефедев К. В.

Составитель: к. ф.-м. н, доцент Шульга Д. В.

Владивосток
2022

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Квантовая теория поля»

Курс «Квантовая теория поля» предназначен для студентов очной формы обучения направления подготовки 03.03.02 «Физика», направленность «Экспериментальная физика».

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (34 часов), практические занятия (48 часов), самостоятельная работа (62 часа). Дисциплина реализуется на 4 курсе в 7 семестре.

Дисциплина «Квантовая теория поля» относится к вариативной части профессионального цикла дисциплин (Б1.В.ДВ.12.02).

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах: «Математический анализ», «Квантовая механика», «Методы математической физики», «Дифференциальные и интегральные уравнения, вариационное исчисление».

Квантовая теория поля — раздел физики, изучающий поведение квантовых систем с бесконечно большим числом степеней свободы — квантовых полей, является теоретической основой описания микрочастиц, их взаимодействий и превращений. Именно на квантовой теории поля базируется вся физика высоких энергий, физика элементарных частиц и физика конденсированного состояния. Квантовая теория поля в виде Стандартной модели сейчас является единственной экспериментально подтверждённой теорией, способной описать и предсказать поведение элементарных частиц при высоких энергиях.

Цель изучения дисциплины – приобретение систематизированных знаний по основам квантовой теории поля.

Задачи:

1. изучение основных принципов квантовой теории поля;
2. освоение математического аппарата квантовой теории поля;
3. изучение основных понятий и уравнений квантовой теории поля;
4. приобретение навыков решения задач по квантовой теории поля.

Для успешного изучения дисциплины «Квантовая теория поля» у студентов должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- ОПК-1 способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественно-научные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке);

- ОПК-2 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.

- ОПК-3 Способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

В результате изучения данной дисциплины у студентов формируются следующие общекультурные/ общепрофессиональные/ профессиональные компетенции (элементы компетенций):

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
УК-1.2 Выбирает современные технические и программные средства и методы поиска, обобщения, обработки и передачи информации при создании документов различных типов, современные программные средства создания и редактирования документов, страниц сайтов, баз данных	Знает	предпосылки создания квантовой теории поля; математический аппарат квантовой теории поля; основные принципы квантовой теории поля; основные уравнения квантовой теории поля; теоретические основания квантовой теории поля; основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля.
	Умеет	применять теорию возмущений к решению задач; проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц; решать типовые задачи квантовой теории поля.
	Владеет	навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой; точными и приближенными методами квантовой теории поля.
ПК-1.1 Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп	Знает	теоретические основания квантовой электродинамики; основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля.
	Умеет	решать типовые задачи квантовой электродинамики.
	Владеет	точными и приближенными методами квантовой электродинамики.
ПК-1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике	Знает	предпосылки создания квантовой электродинамики; математический аппарат квантовой электродинамики; основные принципы квантовой электродинамики; основные уравнения квантовой электродинамики.
	Умеет	проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц; проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц.
	Владеет	навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой.

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Квантовая теория поля» применяются следующие методы активного/интерактивного обучения: обсуждение в группах, решение задач с обсуждением.

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (34 часов)

МОДУЛЬ 1. Свободные поля (14 часов)

Раздел 1. Введение (3 часа)

Тема 1. Соотношение между квантовой и классической теориями поля (1 час)

Принцип соответствия. Квантовые возбуждения как частицы.

Тема 2. Колеблущаяся цепочка атомов (1 час)

Уравнение движения цепочки. Гамильтониан цепочки. Решение уравнения в нормальных координатах.

Тема 3. Непрерывная колеблущаяся цепочка (1 час)

Предельный переход к непрерывному случаю. Дифференциальное уравнение в частных производных.

Раздел 2. Гармонический осциллятор (2 часа)

Тема 1. Собственные значения (1 час)

Операторы рождения и уничтожения. Спектр собственных значений энергии. Основное состояние.

Тема 2. Свойства собственных состояний (0,5 часа)

Флуктуация координаты. Неравенство нулю нулевой энергии.

Тема 3. Зависимость движения от времени (0,5 часа)

Представление Шредингера. Представление Гейзенберга.

Раздел 3. Связанные осцилляторы (3 часа)

Тема 1. Собственные значения гамильтониана (1 час)

Переход к нормальным координатам. Собственные значения и собственные вектора. Фононы.

Тема 2. Квантовые свойства (1 час)

Энергия нулевых колебаний. Флуктуации атомов.

Тема 3. Вопросы динамики (1 час)

Классическое и квантовое решения уравнений.

Раздел 4. Поля (2 часа)

Тема 1. Непрерывно связанные осцилляторы (1 час)

Аналогия между связанными осцилляторами и скалярным полем. Трехмерные условия периодичности. Расходимость нулевой энергии. Расходимость квадратичной флуктуации поля.

Тема 2. Вывод уравнений движения из лагранжиана (1 час)

Принцип наименьшего действия. Гамильтониан. Уравнения движения.

Раздел 5. Наблюдаемые (2 часа)

Тема 1. Энергия, импульс и угловой момент (0,5 часа)

Инвариантность лагранжиана относительно преобразований и существование интегралов движения. Оператор момента импульса и разложение по плоским волнам.

Тема 2. Четность (0,5 часа)

Инвариантность относительно отражения.

Тема 3. Число частиц и плотность частиц (0,5 часа)

Релятивистский и нерелятивистский случаи.

Тема 4. Локальные наблюдаемые (0,5 часа)

Комптоновская длина волны и эффективный размер частиц в квантовой теории поля.

Раздел 6. Состояния (2 часа)

Тема 1. Вакуумное и одночастичное состояния (1 час)

Виртуальные частицы.

Тема 2. Двухчастичные состояния (0,5 часа)

Интерференция, флуктуация, тождественные частицы.

Тема 3. Многочастичные состояния (0,5 часа)

Флуктуация плотности частиц.

МОДУЛЬ 2. Взаимодействия, допускающие точные решения (12 часа)

Раздел 1. Общий обзор (2 часа)

Тема 1. Уравнения поля (1 час)

Поле с источником. Функция Грина. In- и out- решения уравнения.

Тема 2. Квантование (0,5 часа)

Лагранжиан взаимодействия. Перестановочные соотношения для ϕ^{in} и ϕ^{out} операторов.

Тема 3. Матрица рассеяния и волновая матрица (0,5 часа)

Определение и свойства матрицы рассеяния. Золотое правило Ферми. Сечение рассеяния.

Раздел 2. Статический источник (3 часа)

Тема 1. Интерпретация статического источника (0,5 часа)

Запаздывающий и опережающий пропагаторы.

Тема 2. Энергия связанной системы (0,5 часа)

Спектр собственных значений. Энергия перенормировки.

Тема 3. Связь между голыми и физическими состояниями (0,5 часа)

Флуктуация числа виртуальных частиц. Облако виртуальных частиц.

Тема 4. Флуктуации поля (0,5 часа)

Тема 5. Несколько источников (1 час)

Потенциал Юкавы. Потенциалы отталкивания и притяжения.

Раздел 3. Рождение частиц (1 час)

Тема 1. Общие замечания (0,5 часа)

Реальные и виртуальные частицы. Энергия передаваемая или отбираемая источником от поля.

Тема 2. Частные случаи (0,5 часа)

Точечный источник с периодической зависимостью от времени. Сферический источник. Источник, внезапно меняющий свою скорость.

Раздел 4. Классическая теория с билинейным взаимодействием (3 часа)

Тема 1. Связанные состояния (1 час)

Детерминант Фредгольма. Нули детерминанта и связанные состояния.

Тема 2. Поведение волновой матрицы (1 час)

Свойства волновой матрицы. Оператор проектирования на связанные состояния.

Тема 3. Рассеяние (1 час)

Связь между падающими и уходящими волнами. Разложение по сферическим волнам.

Раздел 5. Квантовая теория поля с билинейным взаимодействием (3 часа)

Тема 1. Квантование и перестановочные соотношения при наличии связанного состояния (0,5 часа)

Согласованность перестановочных соотношений для локальных и асимптотических полей.

Тема 2. Рассеяние (0,5 часа)

Сечение рассеяния. Резонансное рассеяние. Фазовый сдвиг.

Тема 3. Выражение энергии через асимптотические поля (1 час)

Энергия перенормировки. Соотношение между фазовым сдвигом и изменением энергии.

Тема 4. Виртуальные частицы (1 час)

Распределение виртуальных частиц. Аналогия с гармоническим осциллятором. Поляризация вакуума.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Практические занятия (48 часов)

Занятие 1. Линейная цепочка. Классическое и квантовое описание. (обсуждение в группах) (3 часа)

Занятие 2. Уравнение Клейна-Гордона. Коммутационные соотношения для операторов рождения и уничтожения. (решение задач с обсуждением) (3 часа)

Занятие 3. Уравнение Клейна-Гордона. Операторы поля в сферическом представлении. (обсуждение в группах) (3 часа)

Занятие 4. Уравнение Клейна-Гордона. Коммутационные соотношения между полевыми операторами и генераторами преобразований. (решение задач с обсуждением) (3 часа)

Занятие 5. Уравнение Клейна-Гордона. Пропагатор Фейнмана. (обсуждение в группах) (3 часа)

Занятие 6. Уравнение Дирака. Симметризованная плотность лагранжиана. (решение задач с обсуждением) (3 часа)

Занятие 7. Уравнение Дирака. Оператор импульса. (обсуждение в группах) (3 часа)

Занятие 8. Уравнение Дирака. Спиральные состояния. (решение задач с обсуждением) (3 часа)

Занятие 9. Уравнения Максвелла. Лагранжиан. (обсуждение в группах) (3 часа)

Занятие 10. Уравнения Максвелла. Связанные уравнения Максвелла и Дирака. (решение задач с обсуждением) (3 часа)

Занятие 11. Калибровочные преобразования фотонного поля. (обсуждение в группах) (3 часа)

Занятие 12. Пропагатор Фейнмана фотонного поля в различных калибровках. (решение задач с обсуждением) (3 часа)

Занятие 13. Общие коммутационные соотношения для электромагнитного поля. (обсуждение в группах) (3 часа)

Занятие 14. Электрон-электронное рассеяние. (решение задач с обсуждением) (3 часа)

Занятие 15. Комптоновское рассеяние. (обсуждение в группах) (3 часа)

Занятие 16. Диаграммы Фейнмана для теории ϕ^4 . (решение задач с обсуждением) (3 часа)

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Квантовая теория поля» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

- характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению;

- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Модуль 1. Свободные поля Раздел 1. Введение	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 1 - 3
2	Раздел 2. Гармонический осциллятор	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 4 - 6
3	Раздел 3. Связанные осцилляторы	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 7 - 9
4	Раздел 4. Поля	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 10 - 11
5	Раздел 5. Наблюдаемые	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 12 - 15
6	Раздел 6. Состояния	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 16 - 18
7	Модуль 2. Взаимодействия, допускающие точные решения Раздел 1. Общий обзор	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 19 - 22
8	Раздел 2. Статический источник	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 23 - 27
9	Раздел 3. Рождение частиц	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 28 - 30

10	Раздел 4. Классическая теория с билинейным взаимодействием	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 31 - 34
11	Раздел 5. Квантовая теория поля с билинейным взаимодействием	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 35 - 41

Контрольные и методические материалы, а также критерии и показатели необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы представлены в Приложении 2.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(электронные и печатные издания)

1. Вайнберг, С. Квантовая теория поля. Т.1. Общая теория [Электронный ресурс] / С. Вайнберг; под ред. В.Ч. Жуковского ; пер. с англ. В.Ч. Жуковского. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2015. — 648 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91164>

2. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т.4 Квантовая электродинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2006. — 720 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2237>

3. Вергелес, С.Н. Лекции по квантовой электродинамике [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.Н. Вергелес. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2005. — 248 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48241>

4. Борчердс, Р. Е. Квантовая теория поля [Электронный ресурс] / Р. Е. Борчердс ; пер. А. Я. Мальцев. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2006. — 96 с. — 978-5-93972-627-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16540.html>

5. Цвелик, А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния [Электронный ресурс] / А.М. Цвелик. — Электрон. дан. —

Москва: Физматлит, 2004. — 320 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2714>

6. Общие принципы квантовой теории поля [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.Н. Боголюбов [и др.]. — Электрон. дан. — Москва: Физматлит, 2006. — 657 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48239>

7. Медведев Б.В. Начала теоретической физики. Механика, теория поля, Элементы квантовой механики. М.: Физматлит, 2007. - 600 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=59454

Дополнительная литература (электронные и печатные издания)

1. Хенли Э., Тирринг В. Элементарная квантовая теория поля. М.: ИЛ, 1963. 315 с.

2. Бьёркен Дж. Д., Дрелл С.Д. Релятивистская квантовая теория. В 2-х т. Том 1. Релятивистская квантовая механика. М.: "Наука", 1978. — 295 с.

3. Бьёркен Дж. Д., Дрелл С.Д. Релятивистская квантовая теория. Том 2. Релятивистские квантовые поля. — М.: Наука, 1978. — 407 с.

4. Greiner W., Reinhardt J., Bromley D.A. Field Quantization. Springer, 1996. - 460 pages

5. Биленький С.М. Введение в диаграммную технику Фейнмана. М.: Атомиздат, 1971. - 215 с.

6. Райдер Л. Квантовая теория поля. Платон, – 509 с., 1998 г.

7. Займан. Дж. Современная квантовая теория. М.: Мир, 1971. 288 с.

8. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. 2001. 784 с.

9. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. Квантовые поля. Изд.3, дополн. 2005. 384 с.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://arxiv.org/archive/hep-th>

2. <http://pdg.lbl.gov/>

3. <http://plato.stanford.edu/entries/quantum-field-theory/>

4. https://www.encyclopediaofmath.org/index.php/Quantum_field_theory

5. http://femto.com.ua/articles/part_1/1562.html

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

Важной является самостоятельная работа по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. При подготовке к занятиям студенты могут пользоваться рабочей программой учебной дисциплины, а также справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

При промежуточной аттестации до экзамена должны сдать все отчетные работы и получить допуск к экзамену.

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудитория для чтения лекций и проведения практических занятий:
персональный компьютер Lenovo ThinkPad E125 с лицензионным и свободным программным обеспечением – MS PowerPoint 2007 и Acrobat Reader XI;
проектор Benq MP770;
переносной экран.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

НАЗВАНИЕ ШКОЛЫ (ФИЛИАЛА)

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**
по дисциплине «Квантовая теории поля»
Направление подготовки – 03.03.02 Физика
Фундаментальная физика
Форма подготовки очная

Владивосток
2022

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	4 часа	Работа на семинарских занятиях
2	2 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
3	3 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	4 часа	Работа на семинарских занятиях
4	4 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
5	5 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	4 часа	Работа на семинарских занятиях
6	6 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
7	7 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	4 часа	Работа на семинарских занятиях
8	8 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
9	9 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	4 часа	Работа на семинарских занятиях
10	10 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
11	11 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	4 часа	Работа на семинарских занятиях
12	12 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
13	13 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	4 часа	Работа на семинарских занятиях
14	14 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
15	15 неделя	Подготовка к	4 часа	Работа на семинарских

		семинарским занятиям		занятиях
16	16 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
17	17 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	4 часа	Работа на семинарских занятиях
18	18 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	4 часа	Работа на семинарских занятиях

Характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению

Самостоятельная работа помогает студентам:

1) овладеть знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);

- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;

- работа со справочниками и др. справочной литературой;

- использование компьютерной техники и Интернета и др.;

2) закреплять и систематизировать знания:

- работа с конспектом лекции;

- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;

- подготовка плана;

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности и уровня умений студентов.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов должен осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Самостоятельная работа на лекции

Слушание и запись лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это

самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях. Конспект лекции лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать пункты плана лекции, предложенные преподавателям. Принципиальные места, определения, формулы и другое следует сопровождать замечаниями «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек. Лучше если они будут собственными, чтобы не приходилось просить их у однокурсников и тем самым не отвлекать их во время лекции. Целесообразно разработать собственную «маркографию» (значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

Работа с литературными источниками

Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной и популярной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме. Более глубокому раскрытию вопросов способствует знакомство с дополнительной литературой.

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы

Требования к конспекту для практических занятий:

1. Должен быть в отдельной тетради, подписанный.
2. Обязательно писать план занятия с указанием темы, вопросов, списка литературы и источников.
3. Отражать проблематику всех поставленных вопросов (анализ источника, литературы).
4. Иметь по ним аргументированные выводы. Слово «аргументированные» является ключевым. Главное - доказуемость выводов.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);

- дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Формы контроля самостоятельной работы:

- Работа на семинарских занятиях .

Критерии оценки результатов самостоятельной работы

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;
- сформированность общеучебных умений;
- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

НАЗВАНИЕ ШКОЛЫ (ФИЛИАЛА)

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине «Квантовая теория поля»
Направление подготовки – 03.03.02 Физика
Фундаментальная физика
Форма подготовки очная

Владивосток
2022

Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
УК-1.2 Выбирает современные технические и программные средства и методы поиска, обобщения, обработки и передачи информации при создании документов различных типов, современные программные средства создания и редактирования документов, страниц сайтов, баз данных	Знает	предпосылки создания квантовой теории поля; математический аппарат квантовой теории поля; основные принципы квантовой теории поля; основные уравнения квантовой теории поля; теоретические основания квантовой теории поля; основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля.
	Умеет	применять теорию возмущений к решению задач; проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц; решать типовые задачи квантовой теории поля.
	Владеет	навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой; точными и приближенными методами квантовой теории поля.
ПК-1.1 Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп	Знает	теоретические основания квантовой электродинамики; основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля.
	Умеет	решать типовые задачи квантовой электродинамики.
	Владеет	точными и приближенными методами квантовой электродинамики.
ПК-1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике	Знает	предпосылки создания квантовой электродинамики; математический аппарат квантовой электродинамики; основные принципы квантовой электродинамики; основные уравнения квантовой электродинамики.
	Умеет	проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц; проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц.
	Владеет	навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой.

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Модуль 1. Свободные поля Раздел 1. Введение	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 1 - 3
2	Раздел 2.	УК-1.2;	Знает	Работа на	Экзамен,

	Гармонический осциллятор	ПК-1.1; ПК-1.2	Умеет Владеет	семинарских занятиях	вопросы № 4 - 6
3	Раздел 3. Связанные осцилляторы	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 7 - 9
4	Раздел 4. Поля	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 10 - 11
5	Раздел 5. Наблюдаемые	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 12 - 15
6	Раздел 6. Состояния	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 16 - 18
7	Модуль 2. Взаимодействия, допускающие точные решения Раздел 1. Общий обзор	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 19 - 22
8	Раздел 2. Статический источник	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 23 - 27
9	Раздел 3. Рождение частиц	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 28 - 30
10	Раздел 4. Классическая теория с билинейным взаимодействием	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 31 - 34
11	Раздел 5. Квантовая теория поля с билинейным взаимодействием	УК-1.2; ПК-1.1; ПК-1.2	Знает Умеет Владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 35 - 41

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	критерии	показатели	баллы
--------------------------------	--------------------------------	----------	------------	-------

<p>УК-1.2 Выбирает современные технические и программные средства и методы поиска, обобщения, обработки и передачи информации при создании документов различных типов, современные программные средства создания и редактирования документов, страниц сайтов, баз данных</p>	<p>знает (пороговый уровень)</p>	<p>теоретические основания квантовой теории поля, основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля; предпосылки создания квантовой теории поля; математический аппарат квантовой теории поля; основные принципы квантовой теории поля; основные уравнения квантовой теории поля.</p>	<p>Знание теоретических оснований квантовой теории поля, математического аппарата квантовой теории поля, основных принципов квантовой теории поля.</p>	<p>Способность перечислить и охарактеризовать основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля, перечислить и раскрыть суть основных принципов, методов и уравнений квантовой теории поля.</p>	<p>45-64</p>
	<p>умеет (продвинутой)</p>	<p>решать типовые задачи квантовой теории поля; применять теорию возмущений к решению задач; проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц.</p>	<p>Умение решать типовые задачи квантовой теории поля, применять теоретические знания к решению практических и научных задач; излагать, понимать и критически анализировать общефизическую информацию.</p>	<p>Способность решать типовые задачи квантовой теории поля, применять теоретические знания к решению практических и научных задач; излагать, понимать и критически анализировать общефизическую информацию.</p>	<p>65-84</p>

	владеет (высокий)	точными и приближенными методами квантовой теории поля; навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой.	Владеет методами квантовой теории поля, навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой; использованием базовых теоретических знаний в области квантовой теории поля при решении профессиональных задач.	Способность применить точные и приближенные методы квантовой теории поля при решении конкретных задач, самостоятельно работать с учебной и научной литературой; использовать базовые теоретические знания в области квантовой теории поля при решении профессиональных задач.	85-100
ПК-1.1 Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп	знает (пороговый уровень)	теоретические основания квантовой теории поля, основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля; предпосылки создания квантовой теории поля; математический аппарат квантовой теории поля; основные принципы квантовой теории поля; основные уравнения квантовой теории поля.	Знание теоретических оснований квантовой теории поля, математического аппарата квантовой теории поля, основных принципов квантовой теории поля.	Способность перечислить и охарактеризовать основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля, перечислить и раскрыть суть основных принципов, методов и уравнений квантовой теории поля.	45-64

	<p>умеет (продвинутой)</p>	<p>решать типовые задачи квантовой теории поля; применять теорию возмущений к решению задач; проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц.</p>	<p>Умение решать типовые задачи квантовой теории поля, применять теоретические знания к решению практических и научных задач; излагать, понимать и критически анализировать общезначимую информацию.</p>	<p>Способность решать типовые задачи квантовой теории поля, применять теоретические знания к решению практических и научных задач; излагать, понимать и критически анализировать общезначимую информацию.</p>	<p>65-84</p>
	<p>владеет (высокий)</p>	<p>точными и приближенными методами квантовой теории поля; навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой.</p>	<p>Владеет методами квантовой теории поля, навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой; использования базовых теоретических знаний в области квантовой теории поля при решении профессиональных задач.</p>	<p>Способность применить точные и приближенные методы квантовой теории поля при решении конкретных задач, самостоятельно работать с учебной и научной литературой; использовать базовые теоретические знания в области квантовой теории поля при решении профессиональных задач.</p>	<p>85-100</p>

ПК-1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике	знает (пороговый уровень)	теоретические основания квантовой теории поля, основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля; предпосылки создания квантовой теории поля; математический аппарат квантовой теории поля; основные принципы квантовой теории поля; основные уравнения квантовой теории поля.	Знание теоретических оснований квантовой теории поля, математического аппарата квантовой теории поля, основных принципов квантовой теории поля.	Способность перечислить и охарактеризовать основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией поля, перечислить и раскрыть суть основных принципов, методов и уравнений квантовой теории поля.	45-64
	умеет (продвинутой)	решать типовые задачи квантовой теории поля; применять теорию возмущений к решению задач; проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц.	Умение решать типовые задачи квантовой теории поля, применять теоретические знания к решению практических и научных задач; излагать, понимать и критически анализировать общефизическую информацию.	Способность решать типовые задачи квантовой теории поля, применять теоретические знания к решению практических и научных задач; излагать, понимать и критически анализировать общефизическую информацию.	65-84

владеет (высокий)	точными и приближенными методами квантовой теории поля; навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой.	Владеет методами квантовой теории поля, навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой; использования базовых теоретических знаний в области квантовой теории поля при решении профессиональных задач.	Способность применить точные и приближенные методы квантовой теории поля при решении конкретных задач, самостоятельно работать с учебной и научной литературой; использовать базовые теоретические знания в области квантовой теории поля при решении профессиональных задач.	85-100
-------------------	--	---	---	--------

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Промежуточная аттестация обучающихся по учебной дисциплине осуществляется в рамках завершения изучения данной дисциплины и позволяет определить качество и уровень ее освоения. Предметом оценки освоения являются умения и знания.

Промежуточная аттестация обучающихся осуществляется в форме экзамена и позволяет определить развитие общих компетенций, предусмотренных для ОПОП. Условием допуска к экзамену является успешное освоение обучающимися всех элементов дисциплины (выполнение и сдача всех коллоквиумов и контрольных работ).

Текущий контроль успеваемости осуществляется в ходе повседневной учебной работы по курсу дисциплины. Данный вид контроля стимулирует обучающихся стремление к систематической самостоятельной работе по изучению учебной дисциплины, овладению общими компетенциями.

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ по дисциплине «Квантовая теория поля»

1. Соотношение между квантовой и классической теориями поля.
2. Колеблущаяся цепочка атомов.

3. Непрерывная колеблющаяся цепочка.
4. Задача о гармоническом осцилляторе.
5. Свойства собственных состояний в задаче о гармоническом осцилляторе.
6. Зависимость движения от времени.
7. Задача о связанных осцилляторах.
8. Собственные значения гамильтониана задачи о связанных осцилляторах.
9. Квантовые свойства и вопросы динамики в задаче о связанных осцилляторах.
10. Непрерывно связанные осцилляторы.
11. Вывод уравнений движения для связанных осцилляторов из лагранжиана.
12. Энергия, импульс и угловой момент в квантовой теории поля (КТП).
13. Инвариантность относительно отражения.
14. Число частиц и плотность частиц.
15. Локальные наблюдаемые.
16. Вакуумное и одночастичное состояния.
17. Двухчастичные состояния.
18. Многочастичные состояния.
19. Взаимодействия, допускающие точные решения.
20. Уравнения поля с источником.
21. Квантование полей со взаимодействием.
22. Матрица рассеяния и волновая матрица.
23. Статический источник.
24. Энергия связанной системы.
25. Связь между голыми и физическими состояниями.
26. Флуктуации поля.
27. Случай с несколькими источниками.
28. Рождение частиц.
29. Точечный источник с периодической зависимостью от времени.
30. Сферический источник. Источник, внезапно меняющий свою скорость.
31. Классическая теория с билинейным взаимодействием.
32. Связанные состояния.
33. Поведение волновой матрицы.
34. Рассеяние в классической теории поля.
35. Квантовая теория поля с билинейным взаимодействием.
36. Квантование и перестановочные соотношения при наличии связанного состояния.

37. Рассеяние в квантовой теории поля. Сечение рассеяния.
38. Резонансное рассеяние. Фазовый сдвиг.
39. Выражение энергии через асимптотические поля.
40. Виртуальные частицы.
41. Поляризация вакуума.

Критерии оценки на экзамене по дисциплине «Квантовая теория поля»

Оценка **«отлично»** ставится, если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

Оценка **«хорошо»** ставится, если ответ обнаруживает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

Оценка **«удовлетворительно»** ставится, если ответ свидетельствует в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличается недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

Оценка **«неудовлетворительно»** ставится, если ответ обнаруживает незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются

серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

Комплект заданий для контрольной работы

Тема 1. Введение

Вариант 1. Соотношение между квантовой и классической теориями поля

Принцип соответствия. Квантовые возбуждения как частицы.

Вариант 2. Колеблющаяся цепочка атомов

Уравнение движения цепочки. Гамильтониан цепочки. Решение уравнения в нормальных координатах.

Вариант 3. Непрерывная колеблющаяся цепочка

Предельный переход к непрерывному случаю. Дифференциальное уравнение в частных производных.

Тема 2. Гармонический осциллятор

Вариант 1. Собственные значения

Операторы рождения и уничтожения. Спектр собственных значений энергии. Основное состояние.

Вариант 2. Свойства собственных состояний

Флуктуация координаты. Неравенство нулю нулевой энергии.

Вариант 3. Зависимость движения от времени

Представление Шредингера. Представление Гейзенберга.

Тема 3. Связанные осцилляторы

Вариант 1. Собственные значения гамильтониана

Переход к нормальным координатам. Собственные значения и собственные вектора. Фононы.

Вариант 2. Квантовые свойства

Энергия нулевых колебаний. Флуктуации атомов.

Вариант 3. Вопросы динамики

Классическое и квантовое решения уравнений.

Тема 4. Поля

Вариант 1. Непрерывно связанные осцилляторы

Аналогия между связанными осцилляторами и скалярным полем. Трехмерные условия периодичности. Расходимость нулевой энергии. Расходимость квадратичной флуктуации поля.

Вариант 2. Вывод уравнений движения из лагранжиана

Принцип наименьшего действия. Гамильтониан. Уравнения движения.

Тема 5. Наблюдаемые

Вариант 1. Энергия, импульс и угловой момент

Инвариантность лагранжиана относительно преобразований и существование интегралов движения. Оператор момента импульса и разложение по плоским волнам.

Вариант 2. Четность

Инвариантность относительно отражения.

Вариант 3. Число частиц и плотность частиц

Релятивистский и нерелятивистский случаи.

Вариант 4. Локальные наблюдаемые

Комптоновская длина волны и эффективный размер частиц в квантовой теории поля.

Тема 6. Состояния

Вариант 1. Вакуумное и одночастичное состояния

Виртуальные частицы.

Вариант 2. Двухчастичные состояния

Интерференция, флуктуация, тождественные частицы.

Вариант 3. Многочастичные состояния

Флуктуация плотности частиц.

Тема 1. Общий обзор

Вариант 1. Уравнения поля

Поле с источником. Функция Грина. In- и out- решения уравнения.

Вариант 2. Квантование

Лагранжиан взаимодействия. Перестановочные соотношения для ϕ^{in} и ϕ^{out} операторов.

Вариант 3. Матрица рассеяния и волновая матрица

Определение и свойства матрицы рассеяния. Золотое правило Ферми. Сечение рассеяния.

Тема 2. Статический источник

Вариант 1. Интерпретация статического источника

Запаздывающий и опережающий пропагаторы.

Вариант 2. Энергия связанной системы

Спектр собственных значений. Энергия перенормировки.

Вариант 3. Связь между голыми и физическими состояниями

Флуктуация числа виртуальных частиц. Облако виртуальных частиц.

Вариант 4. Флуктуации поля

Вариант 5. Несколько источников

Потенциал Юкавы. Потенциалы отталкивания и притяжения.

Тема 3. Рождение частиц

Вариант 1. Общие замечания

Реальные и виртуальные частицы. Энергия передаваемая или отбираемая источником от поля.

Вариант 2. Частные случаи

Точечный источник с периодической зависимостью от времени.
Сферический источник. Источник, внезапно меняющий свою скорость.

Тема 4. Классическая теория с билинейным взаимодействием

Вариант 1. Связанные состояния

Детерминант Фредгольма. Нули детерминанта и связанные состояния.

Вариант 2. Поведение волновой матрицы

Свойства волновой матрицы. Оператор проектирования на связанные состояния.

Вариант 3. Рассеяние

Связь между падающими и уходящими волнами. Разложение по сферическим волнам.

Тема 5. Квантовая теория поля с билинейным взаимодействием

Вариант 1. Квантование и перестановочные соотношения при наличии связанного состояния

Согласованность перестановочных соотношений для локальных и асимптотических полей.

Вариант 2. Рассеяние

Сечение рассеяния. Резонансное рассеяние. Фазовый сдвиг.

Вариант 3. Выражение энергии через асимптотические поля

Энергия перенормировки. Соотношение между фазовым сдвигом и изменением энергии.

Вариант 4. Виртуальные частицы

Распределение виртуальных частиц. Аналогия с гармоническим осциллятором. Поляризация вакуума.

Критерии оценки выполнения контрольной работы

Отметка "Отлично"

Верно выполнено более 85% заданий.

Отметка "Хорошо"

Верно выполнено 75-85% заданий.

Отметка "Удовлетворительно"

Верно выполнено 60-75% заданий.

Отметка "Неудовлетворительно"

Верно выполнено менее 60% заданий.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)

НАЗВАНИЕ ШКОЛЫ (ФИЛИАЛА)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине «Название»

Направление подготовки - шифр, название направления подготовки

профиль/ специализация/ магистерская программа «Название»

Форма подготовки (очная/ заочная)

Владивосток

2022