

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

(подпись) И.С. Огнев

23 мая 2023 года

Рабочая программа дисциплины
«Метод континуального интеграла в квантовой теории поля»

Направление подготовки
03.04.02 Физика

Направленность (профиль)
«Теоретическая физика»

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от « 25» апреля 2023 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Дисциплина “Метод континуального интеграла в квантовой теории поля” дает студентам дополнительные знания и умения по применению универсального формализма в квантовой механике, квантовой статистической физике, теории конденсированных сред, релятивистской квантовой теории поля.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина “Метод континуального интеграла в квантовой теории поля” является обязательной дисциплиной части, формируемой участниками образовательного процесса Блока Б1. Ее освоение основано на знаниях, полученных студентами в курсах “Квантовая теория” и “Введение в квантовую теорию поля”. В свою очередь, она является базой для дальнейших курсов, таких как “Введение в квантовую хромодинамику”, “Метод ренормализационной группы в квантовой теории поля”.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП бакалавриата

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Код компетенции	Формулировка компетенции	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-1	ИД-ПК-1_2 Знает современные теории и модели физики	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none">– амплитуду перехода в квантовой механике;– матрицу плотности в квантовой механике;– производящий функционал для функций Грина в квантовой теории поля. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">– вычислять амплитуды перехода квантового осциллятора;– вычислять квазиклассические поправки в распределении Больцмана-Максвелла;– вычислять функции Грина взаимодействующих полей методом разложения в ряд по константе связи. <p>Владеть навыками:</p> <ul style="list-style-type: none">– вычисления обобщенных гауссовых интегралов по траекториям;– практического применения аппарата континуального интеграла в квантовой теории;– использования методов перевала и стационарной фазы для приближенного вычисления обобщенных негауссовых интегралов по траекториям.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	С е м ес т р	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)					сам осто ятел ьная раб ота	Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			ле кц ии	пр ак ти че ск ие	ла бо ра то рн ые	ко нс ул ьт ац ии	ат те ст ац ио нн ые ис п ыт ан ия		
1	Континуальный интеграл в квантовой механике	2	5	5		1		25	Индивидуальные консультации
2	Континуальный интеграл в квантовой статистической физике.	2	5	5		1		25	Индивидуальные консультации
3	Континуальный интеграл в квантовой теории поля.	2	10	10		2		30	Индивидуальные консультации
		2					0,3	19,7	Зачет
	Всего	2	20	20		4	0,3	99,7	

Содержание разделов дисциплины:

1. **Континуальный интеграл в квантовой механике**
 - 1.1. Амплитуда перехода в квантовой механике. Представление амплитуды перехода интегралом по путям. Амплитуда перехода в гамильтоновой и фейнмановской форме.
 - 1.2. Вычисление амплитуды перехода свободной частицы и квантового осциллятора.
 - 1.3. Метод стационарной фазы приближенного вычисления квантовомеханической амплитуды перехода.
2. **Континуальный интеграл в квантовой статистической физике.**
 - 2.1. Представление матрицы плотности в квантовой статистической механике интегралом по путям. Формула Фейнмана-Каца.
 - 2.2. Вычисление матрицы плотности идеального бозе-газа и системы квантовых осцилляторов.
 - 2.3. Квазиклассическое приближение квантовой статистической механики. Метод перевала приближенного вычисления негауссовых интегралов при разложении

статсуммы по степеням постоянной Планка. Вычисление первой квантовой поправки в выражении статсуммы.

3. Континуальный интеграл в квантовой теории поля.

- 3.1. Производящий функционал для функций Грина в квантовой теории поля. Представление производящего функционала интегралом по путям. Производящий функционал связанных функций Грина и его представление континуальным интегралом.
- 3.2. Грассмановы образующие и интеграл по грассмановым переменным. Представление производящего функционала для функций Грина по ферми-полям континуальным интегралом Березина.
- 3.3. Вычисление фейнмановских пропагаторов свободных ферми- и бозе-полей методом континуального интеграла.
- 3.4. Теория возмущений при разложении по константе связи в формализме континуального интеграла. Фейнмановская диаграммная техника.
- 3.5. Построение фейнмановской диаграммной техники для вычисления связанных функций Грина в теории $\lambda\varphi^4$.
- 3.6. Производящий функционал свободных калибровочных полей в представлении континуального интеграла. Анзац Фаддеева-Попова. Вычисление пропагатора свободного калибровочного поля в обобщенной калибровке.
- 3.7. Теория возмущений в калибровочных моделях в формализме континуального интеграла. Духи Фаддеева-Попова.

5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция с элементами лекции-беседы – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание студентов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по закреплению полученных на лекции знаний.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Метод континуального интеграла в квантовой теории поля» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены тексты лекций по отдельным темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Гвоздев А.А., Сабитов А.А. Континуальный интеграл в квантовой механике и статистической физике (учебное пособие). Ярославль, ЯрГУ, 2018. 36с.
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20180703.pdf>
2. Гвоздев А.А., Сабитов А.А. Континуальный интеграл в квантовой теории поля и теории конденсированных сред (учебное пособие). Ярославль, ЯрГУ, 2018. 28с.
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20180709.pdf>

б) дополнительная литература:

1. Вергелес, С. Н. Лекции по квантовой электродинамике / С. Н. Вергелес – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 248 с. -
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922106341.html>
2. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. - Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. - 784с. –
http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=300794&cat_cd=YARSU

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор:

Профессор кафедры теоретической физики, д.ф.-м.н.

А.А. Гвоздев

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Метод континуального интеграла в квантовой теории поля»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**

Задания по темам №1-4:

1. Вычислить амплитуду «просачивания» частицы через потенциальный барьер $V(x) = V_0$ ($0 < x < a$) при энергии частицы $E < V_0$.
2. Найти амплитуду перехода частицы с зарядом e массой m в постоянном однородном магнитном поле B , направленном по оси Z .
3. Найти амплитуду перехода гармонического осциллятора при его возмущении внешней силой $f(t)$. Функция Лагранжа осциллятора при возмущении:

$$L = \frac{m}{2} \dot{x}^2 - \frac{m}{2} \omega^2 x^2 + f(t) \cdot x$$

4. Показать, что средняя энергия осциллятора при его термодинамическом равновесии с термостатом в два раза больше его средних кинетической и потенциальной энергий.

1.2 Список вопросов для проведения итоговой аттестации

Список вопросов к экзамену:

1. Амплитуда перехода в квантовой механике. Представление амплитуды перехода интегралом по путям. Амплитуда перехода в гамильтоновой и фейнмановской форме.
2. Вычисление амплитуды перехода свободной частицы и квантового осциллятора.
3. Метод стационарной фазы приближенного вычисления квантомеханической амплитуды перехода.
4. Представление матрицы плотности в квантовой статистической механике интегралом по путям. Формула Фейнмана-Каца.
5. Вычисление матрицы плотности идеального бозе-газа и системы квантовых осцилляторов.
6. Квазиклассическое приближение квантовой статистической механики.
7. Метод перевала приближенного вычисления негауссовых интегралов при разложении статсуммы по степеням постоянной Планка. Вычисление первой квантовой поправки в выражении статсуммы.
8. Производящий функционал для функций Грина в квантовой теории поля.
9. Представление производящего функционала интегралом по путям.
10. Производящий функционал связанных функций Грина и его представление континуальным интегралом.
11. Грассмановы образующие и интеграл по грассмановым переменным.
12. Представление производящего функционала для функций Грина по ферми-полям

континуальным интегралом Березина.

13. Вычисление фейнмановских пропагаторов свободных ферми- и бозе-полей методом континуального интеграла.

14. Теория возмущений при разложении по константе связи в формализме континуального интеграла. Фейнмановская диаграммная техника.

15. Построение фейнмановской диаграммной техники для вычисления связных функций Грина в модели вещественного скалярного поля с самодействием.

16. Производящий функционал свободных калибровочных полей в представлении континуального интеграла.

17. Анзац Фаддеева-Попова.

18. Вычисление пропагатора свободного калибровочного поля в обобщенной калибровке.

19. Теория возмущений в калибровочных моделях в формализме континуального интеграла. Духи Фаддеева-Попова.

В экзаменационные билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 1 часа.

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Оценка «Отлично» выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом метода континуального интеграла в квантовой теории поля; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Студент дает развернутые, полные и четкие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует терминологию релятивистской квантовой механики.

Оценка «Хорошо» выставляется студенту, ответ которого на экзамене в целом соответствуют указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

Оценка «Удовлетворительно» выставляется студенту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются в терминах метода континуального интеграла в квантовой теории поля, но при этом допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также студенту, который взял

экзаменационный билет, но отвечать отказался.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Метод континуального интеграла в квантовой теории поля»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Дисциплина «Метод континуального интеграла в квантовой теории поля» вырабатывает у студентов навыки постановки и аналитического решения сложных физических задач по курсам квантовой теории поля, квантовой электродинамики, квантовой хромодинамики, обеспечивает умение самостоятельно решать задачи и пользоваться справочной литературой по теоретической физике.

Широко практикуется индивидуальная методика решения задач, при которой студенты в большой степени самостоятельно решают задачи при индивидуальной помощи и комментариях преподавателя по ходу решения задачи каждым конкретным студентом с последующим обобщением результата и возможных методов его получения. Таким образом, на практических занятиях студенты приобретают навыки самостоятельных вычислений, анализа поставленной задачи и полученного результата.

Распределение времени для изучения данного курса лучше всего планировать, предусматривая регулярное повторение пройденного материала. Материал необходимо регулярно дополнять информацией, полученной из учебной литературы.

Для подготовки к практическим занятиям рекомендуется использовать литературу из прилагаемого списка основной и дополнительной литературы.

Важной частью самостоятельной работы студентов является подготовка к зачету. Список вопросов к зачету прилагается.