



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

/Н.М. Буднев

«20» апреля 2024 г.



Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.В.07 Введение в квантовую теорию поля

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Фундаментальная физика

Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

Форма обучения: Очная

Согласовано с УМК физического факультета
Протокол №42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель

Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:

Протокол №7

От «15» марта 2024 г.

И.о. зав. кафедрой

С.В. Ловцов

Иркутск 2024 г.

Содержание

I. Цели и задачи дисциплины.....	3
II. Место дисциплины в структуре ОПОП.....	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля).....	3
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	4
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	4
4.3. Содержание учебного материала.....	4
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ.....	5
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	6
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	7
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов).....	8
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	8
а) список литературы.....	8
б) периодические издания.....	8
в) список авторских методических разработок.....	8
г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	8
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	9
VII. Образовательные технологии.....	9
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	9
Приложение: фонд оценочных средств	

I. Цели и задачи дисциплины

«Введение в квантовую теорию поля» начинает курс специальных дисциплин по теоретической физике и предполагает знание основ механики, электродинамики, квантовой механики, а также основ математического анализа, линейной алгебры и дифференциальных уравнений.

Цели курса

Целью курса «Введение в квантовую теорию поля» является ознакомление с основными идеями и методами квантовой теории поля, используемыми в физике элементарных частиц, астрофизике, физике космических лучей и составляющими основу теоретического описания широкого круга физических явлений.

Задачи курса

Данный курс призван решать следующие задачи:

- знакомство с основополагающими принципами, понятиями и гипотезами, лежащими в основе описания квантовополевых систем;
- изучение методов квантовой теории поля;
- знакомство с основными физическими явлениями, описываемыми квантовой теорией поля;

Программа ориентирована на развитие у студентов интереса к самостоятельному изучению фундаментальных основ науки.

II. Место дисциплины в структуре ОПОП.

«Введение в квантовую теорию поля» относится к дисциплинам, формируемым участниками образовательного процесса. При изучении курса «Введение в квантовую теорию поля» используются знания, приобретенные при изучении основных физических и математических курсов, а также спецкурсов по релятивистской квантовой теории и теории излучения. Курс «Введение в квантовую теорию поля» является базовым для изучения такого курса как «Квантовая электродинамика», а также курсов по физике частиц и астрофизике.

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	ПК-1: Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
Индикаторы компетенции	ИДК _{ПК} 1.1 Применяет физико-математический аппарат в сфере своей профессиональной деятельности
Результаты обучения	Знает: основные типы взаимодействий и методы вычислений в квантовой теории поля. Умеет: делать вычисления во вторично квантованной теории. Владеет: навыками вычисления сечений и вероятностей распадов, правилами Фейнмана при вычислении матричных элементов в КЭД.

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов, в том числе 85 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 36 часов.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	1-4	6	108	36	36	36	1	23	Практическое задание; вопросы к зачету
Итого:			108	36	36	36	1	23	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	Раздел 1-4	Задание в виде задачи	После пройденных тем	23	Демонстрация готовых решений	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ.

4.3. Содержание учебного материала

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. СВОБОДНЫЕ КЛАССИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

1. Лагранжиан. Теорема Нетер.
2. Скалярное поле. Энергия-импульс скалярного поля.
3. Массивное векторное поле. Локальный репер.
4. Электромагнитное поле.
5. Поле Дирака.

Раздел 2. КВАНТОВАНИЕ СВОБОДНЫХ ПОЛЕЙ

6. Представление чисел заполнения. Каноническое квантование. Представление Шредингера и Гайзенберга.
7. Релятивистская схема квантования полей.
8. Перестановочные соотношения. Квантование по Ферми-Дираку и Бозе-Эйнштейну.
9. Квантование полей с целым спином. Квантование электромагнитного поля.
10. Квантование поля Дирака.

Раздел 3. ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ ПОЛЯ

11. Лагранжианы взаимодействия. Электромагнитное поле как калибровочное.
12. Неабелевы калибровочные поля. Лагранжиан КХД.
13. Лагранжиан слабых взаимодействий, промежуточный бозон, спонтанное нарушение симметрии.
14. Диагонализация модельных гамильтонианов.

Раздел 4. МАТРИЦА РАССЕЯНИЯ, ДИАГРАММЫ ФЕЙНМАНА

15. Представление взаимодействия. Матрица рассеяния.
16. Теоремы Вика.
17. Функции Грина свободных полей. Причинная функция Грина.
18. Диаграммы Фейнмана. Правила Фейнмана КЭД в импульсном представлении.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Раздел 1, Тема 1	Теорема Нетер и сохраняющиеся величины.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
2.	Раздел 1, Тема 2	Вычисление энергии-импульса скалярного поля	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
3.	Раздел 1, Тема 3	Векторное поле, дополнительные условия.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
4.	Раздел 1, Тема 4	Классическое электромагнитное поле и его динамические величины.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
5.	Раздел 1, Тема 5	Энергия-импульс поля Дирака	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
6.	Раздел 2, Тема 6	Представление Шредингера, Гайзенберга	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
7.	Раздел 2, Тема 7	Различные схемы квантования	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
8.	Раздел 2, Тема 8	Типы перестановочных соотношений	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
9.	Раздел 2, Тема 9	Квантование массивного векторного поля,	2	Задание на семинаре в	ПК-1

		электромагнитного поля.		виде задачи	
10.	Раздел 2, Тема 10	Квантованное поле Дирака, связь спина и статистики	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
11.	Раздел 3, Тема 11	Абелева калибровочная симметрия и электромагнитное поле.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
12.	Раздел 3, Тема 12	Неабелева калибровочная симметрия.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
13.	Раздел 3, Тема 13	Неабелева калибровочная симметрия и возникновение массы.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
14.	Раздел 3, Тема 14	Простые системы со смешиванием и взаимодействием.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
15.	Раздел 4, Тема 15	Матрица рассеяния и лагранжиан взаимодействия.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
16.	Раздел 4, Тема 16	Теоремы Вика и вычисление матричных элементов.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
17.	Раздел 5, Тема 17	Различные функции Грина и граничные условия.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
18.	Раздел 5, Тема 18	Диаграммы Фейнмана и вычисление матричных элементов.	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	Теорема Нетер	Внеаудиторная, решение задач	Момент импульса	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий;	2
2	Энергия-импульс скалярного поля	Внеаудиторная, решение задач	Вектор тока и заряд. Решение уравнения Клейна-Гордона.		2
3	Векторное поле	Внеаудиторная, решение задач	Диагонализация энергии-импульса.		1
4	Электромагнитное поле	Внеаудиторная, решение задач	Обобщенный лагранжиан, калибровки.		1

5	Поле Дирака	Внеаудиторная, решение задач	Решение уравнения Дирака, спиновые степени свободы.	Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ и Сторонние сайты	1
6	Каноническое квантование	Внеаудиторная, решение задач	Гамильтонов подход и вторичное квантование		1
7	Релятивистская схема квантования	Внеаудиторная, решение задач	Представление Фока и законы сохранения.		1
8	Перестановочные соотношения	Внеаудиторная, решение задач	Зарядовая симметрия и типы перестановочных соотношений.		1
9	Электромагнитное поле	Внеаудиторная, решение задач	Вычисление динамических величин квантованного поля.		1
10	Квантование поля Дирака	Внеаудиторная, решение задач	Динамические величины дираковского поля.		1
11	Калибровочная симметрия	Внеаудиторная, решение задач	Обобщенный лагранжиан, квантование и условия калибровки.		1
12	Неабелева калибровочная симметрия	Внеаудиторная, решение задач	Лагранжиан КХД, основные свойства.		1
13	Слабые взаимодействия и массивный переносчик.	Внеаудиторная, решение задач	Спонтанное нарушение симметрии и возникновение массы.		1
14	Вторично квантованные теории	Внеаудиторная, решение задач	Гамильтонов подход, модель статического источника.		1
15	Матрица рассеяния	Внеаудиторная, решение задач	Хронологическое произведение, хронологическая экспонента.		1
16	Теоремы Вика	Внеаудиторная, решение задач	Приведение к нормальной форме		1
17	Функции Грина	Внеаудиторная, решение задач	Причинная функция Грина, свойства. Особенности на световом фокусе.		2
18	Диаграммы Фейнмана	Внеаудиторная, решение задач	Диаграммы Фейнмана в различных теориях.		2

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Студентам для самостоятельного углубленного изучения дисциплины предлагаются задачи по изучаемым разделам и график их изучения. Предполагается, что студент самостоятельно изучит дополнительные параграфы по пройденной теме, а затем решит предложенные задачи, методы

решения которых частично обсуждаются на семинарах. Оценка самостоятельной работы студентов проводится в виде контрольных опросов на практических занятиях.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ (проектов)

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) список литературы

основная литература

1. Боголюбов, Н. Н. Квантовые поля : учебное пособие / Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков. — 3-е изд., доп. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 384 с. — ISBN 5-9221-0580-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2117>
2. Общие принципы квантовой теории поля : учебное пособие / Н. Н. Боголюбов, А. А. Логунов, А. И. Оксак, И. Т. Годоров. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 657 с. — ISBN 5-9221-0612-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/48239>

дополнительная литература:

1. Вайнберг, С. Квантовая теория поля / С. Вайнберг ; под редакцией В. Ч. Жуковского ; перевод с английского В. Ч. Жуковского. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Том 1 : Общая теория — 2015. — 648 с. — ISBN 978-5-9221-1620-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.

б) периодические издания

- нет

в) список авторских методических разработок

- нет

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

<http://library.isu.ru/> - Научная библиотека ИГУ;

Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ:

- <https://isu.bibliotech.ru/> - ЭЧЗ «БиблиоТех»;
- <http://e.lanbook.com> - ЭБС «Издательство «Лань»;
- <http://rucont.ru> - ЭБС «Рукопт» - межотраслевая научная библиотека, содержащая оцифрованные книги, периодические издания и отдельные статьи по всем отраслям знаний, а также аудио-, видео-, мультимедиа софт и многое другое;
- <http://ibooks.ru/> - ЭБС «Айбукс» - интернет ресурсы в свободном доступе.

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория для проведения занятий. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук.

VII. Образовательные технологии

При изучении данной дисциплины используются следующие образовательные технологии:

1. Практические занятия, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
2. Консультации – еженедельно для всех желающих студентов; Компьютерные симуляции для демонстрации различных механических процессов.
3. Текущий контроль за деятельностью студентов осуществляется в основном на практических занятиях при дискуссии о результатах выполненных практических работ.

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств представлен в приложении.

Оценочные средства текущего контроля — задачи на практических занятиях.

Форма проведения промежуточной аттестации — зачет.

Варианты задач

1. Вычислить энергию скалярного поля.
2. Вычислить матричный элемент рассеяния $2 \rightarrow 2$ с использованием теоремы Вика.

Перечень контрольных вопросов

1. Примеры преобразований, сохраняющих действие.
2. Каноническое квантование, как оно связано с классической механикой?
3. Релятивистская схема квантования – суть подхода.
4. Квантование скалярного поля.
5. Квантование массивного векторного поля.
6. Квантование электромагнитного поля, индефинитная метрика.
7. Квантование поля Дирака.
8. Лагранжианы взаимодействия.
9. Калибровочная инвариантность, лагранжиан квантовой электродинамики.
10. Неабелева калибровочная инвариантность, лагранжиан КХД.
11. Матрица рассеяния.
12. Теоремы Вика.
13. Правила Фейнмана вычисления матричных элементов в импульсном представлении.
14. Калибровочная инвариантность матричных элементов.
15. Какова размерность лагранжиана?

Примерный перечень вопросов и заданий к зачету

1. Теорема Нетер. Энергия-импульс.
2. Теорема Нетер. Момент количества движения и спин.
3. Теорема Нетер. Вектор тока и заряд.
4. Свободное скалярное поле, решение уравнения Клейна-Гордона.
5. Свободное скалярное поле, энергия поля.
6. Массивное векторное поле, лагранжиан и уравнения движения.
7. Массивное векторное поле, переход к локальному реперу.
8. Электромагнитное поле, лагранжиан и уравнения движения.
9. Электромагнитное поле, калибровочная инвариантность, условие Лоренца.
10. Электромагнитное поле, переход к локальному реперу.
11. Поле Дирака, лагранжиан, уравнения движения.

12. Решение уравнения Дирака, разложение по спиновым состояниям.
13. Квантование, корпускулярная трактовка чисел заполнения.
14. Представление Шредингера и Гайзенберга, каноническое квантование.
15. Релятивистская схема квантования полей.
16. Перестановочные соотношения, физический смысл частотных компонент.
17. Квантование по Ферми-Дираку и Бозе-Эйнштейну.
18. Квантование электромагнитного поля.
19. Квантование поля Дирака.
20. Лагранжианы взаимодействия, типы взаимодействий.
21. Локальная калибровочная инвариантность, лагранжиан КЭД.
22. Локальная калибровочная инвариантность, лагранжиан КХД.
23. Представление взаимодействия, S-матрица.
24. Теоремы Вика.
25. Функции Грина скалярного поля.
26. Функции Грина векторного и спинорного полей.
27. Правила Фейнмана КЭД.

Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенций, указанных выше в п.3:

1. Основным объектом в квантовой теории поля является:

- | | |
|------------------------|----------------------------------|
| 1) функция Лагранжа; | 4) лагранжиан; |
| 2) функция Гамильтона; | 5) плотность функции Лагранжа; |
| 3) гамильтониан; | 6) плотность функции Гамильтона. |

2. Основным объектом при каноническом квантовании является:

- | | |
|------------------------|----------------------------------|
| 1) функция Лагранжа; | 4) лагранжиан; |
| 2) функция Гамильтона; | 5) плотность функции Лагранжа; |
| 3) гамильтониан; | 6) плотность функции Гамильтона. |

3. Основным объектом при ковариантном квантовании является:

- | | |
|------------------------|----------------------------------|
| 1) функция Лагранжа; | 4) лагранжиан; |
| 2) функция Гамильтона; | 5) плотность функции Лагранжа; |
| 3) гамильтониан; | 6) плотность функции Гамильтона. |

4. Размерность плотности функции Лагранжа в СГС:

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1) $[W]$; | 4) $\frac{ML^2}{T}$; |
| 2) $[W] \cdot T$; | 5) $\frac{M}{LT^2}$; |
| 3) $\frac{ML^2}{T^2}$; | 6) M^4 . |

Разработчики:



профессор кафедры теоретической физики

А.Е. Калошин

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики

«15» марта 2024 г.

Протокол №7 И.о. зав. кафедрой



С.В. Ловцов

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.