

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
Российской академии наук» (ИПФ РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора по научной работе

_____ М.Ю. Глявин

« ____ » _____ 20__ г.

Рабочая программа дисциплины

Квантовая теория поля

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки / специальность
03.06.01 Физика и астрономия

Направленность образовательной программы
01.04.21 Лазерная физика

Квалификация (степень)
Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

20__

1. Место и цели дисциплины в структуре образовательной программы (ОП)

Дисциплина «Квантовая теория поля» относится к числу профильных дисциплин вариативной части образовательной программы, является дисциплиной по выбору аспиранта, преподается на втором году обучения в четвертом семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у аспирантов современного представления об основных методах квантовой теории поля, позволяющей совместить принципы квантовой механики и теории относительности;
- освоение обучающимися достижений квантово-полевого описания систем многих частиц;
- формирование у обучающихся практических навыков в решении задач релятивистской квантовой механики и использовании диаграмм Фейнмана для расчета процессов рассеяния в квантовой электродинамике;
- формирование у аспирантов профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» и направленностью подготовки 01.04.21 Лазерная физика.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Таблица 1:

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код и этап формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2 <i>способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта (этап освоения – базовый)</i>	<i>З1 (ПК-1) Знать основные релятивистские уравнения; теорему Нетер; метод канонического квантования; электронный и фотонный пропагаторы.</i> <i>У1 (ПК-1) Уметь находить решение уравнения Дирака в простейших случаях; использовать теорему Нетер для определения динамических инвариантов полей; вычислять вакуумные средние от произведений операторов полей.</i> <i>В1 (ПК-1) Владеть теоретико-полевыми методами и использовать их (при необходимости) в исследованиях, связанных с физикой высоких энергий</i>
ПК-3 <i>способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки) (этап освоения – базовый)</i>	<i>З1 (ПК-2) Знать матрицу рассеяния; коммутационные соотношения для операторов спинорного и электромагнитного полей; правила Фейнмана.</i> <i>У1 (ПК-2) Уметь выражать амплитуды рассеяния для основных электродинамических процессов через диаграммы Фейнмана.</i> <i>В1 (ПК-2) Владеть теоретико-полевыми методами и использовать их (при необходимости) в исследованиях, связанных с физикой конденсированного состояния.</i>

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 38 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, в т.ч. мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 70 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Структура дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
<u>Тема 1.</u> Релятивистские уравнения	10	3		3	7
<u>Тема 2.</u> Классические поля: лагранжева формулировка, динамические инварианты, теорема Нетер	9	3		3	6
<u>Тема 3.</u> Глобальные и локальные симметрии	10	3		3	7
<u>Тема 4.</u> Спонтанное нарушение симметрии	10	4		4	6
<u>Тема 5.</u> Каноническое квантование полей. Скалярное поле	9	3		3	6
<u>Тема 6.</u> Квантовое спинорное поле	10	4		4	6
<u>Тема 7.</u> Квантование электромагнитного поля. Эффект Казимира	10	3		3	7
<u>Тема 8.</u> Взаимодействующие поля. Матрица рассеяния	9	3		3	6
<u>Тема 9.</u> Рассеяние электронов и позитронов внешним полем	11	4		4	7
<u>Тема 10.</u> Сечение рассеяния фотона электроном в низшем порядке теории возмущений	9	3		3	6
<u>Тема 11.</u> Перенормировка массы и заряда электрона	9	3		3	6
в т.ч. текущий контроль			4		
Промежуточная аттестация – Зачет				2	
Итого		108			

4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий дисциплины «Квантовая теория поля» являются занятия лекционного типа с применением технологий интерактивного обучения (презентаций), проблемный метод изложения материала, диалоговая форма проведения занятий и самостоятельная работа аспиранта.

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Предусматривается также посещение аспирантами лекций и докладов ведущих специалистов по проблематике, относящейся к предмету курса. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе заслушивания докладов-презентаций и зачета по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, доступные ресурсы в Интернет по тематике курса, а также конспекты и презентации лекций.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), и уровня их сформированности

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания

Для оценивания сформированности компетенций используется промежуточная аттестация в форме зачета. Зачет состоит из индивидуального собеседования и решения практических контрольных заданий. Критерии оценок выполнения задания:

Зачтено	В целом удовлетворительная подготовка, возможно с заметными, но не грубыми ошибками или недочетами. Аспирант дает полный ответ на все теоретические вопросы собеседования, возможно с небольшими неточностями; допускаются негрубые ошибки при ответах на дополнительные вопросы. Полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей, возможно с не всегда полной обоснованностью выводов.
Не зачтено	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Аспирант дает ошибочные ответы как на теоретические вопросы, так и на наводящие и дополнительные вопросы преподавателя, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки.

6.3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

Вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Для оценки сформированности профессиональных компетенций ПК-2, ПК-3:

- 1) Уравнение Дирака. Переход к нерелятивистскому приближению.
- 2) Лоренц-инвариантность уравнения Дирака.
- 3) Классические свободные поля. Лагранжиан. Теорема Нетер. Вектор энергии-импульса.
- 4) Непрерывные симметрии. Глобальная $U(1)$ симметрия. Локальные симметрии и калибровочные поля.
- 5) Спонтанное нарушение симметрии. Голдстоуновские частицы. Эффект Хиггса.
- 6) Спинорное поле. Импульсное представление.
- 7) Электромагнитное поле. Калибровочная инвариантность и условие Лоренца.
- 8) Канонический формализм. Квантование скалярного поля. Фейнмановский пропагатор скалярного поля.
- 9) Квантование электромагнитного поля (калибровка излучения).
- 10) Квантование поля Дирака. Фейнмановский пропагатор.
- 11) Матрица рассеяния. Представления Шредингера, Гейзенберга. Представление взаимодействия.
- 12) Теория возмущений для S -матрицы.
- 13) Электромагнитное взаимодействие. Матричные элементы S -матрицы. Правила Фейнмана.
- 14) Нерелятивистская теория рассеяния. Борновское приближение.
- 15) Рассеяние электрона в кулоновском поле в низшем порядке теории возмущений.
- 16) Рассеяние электрона на электроне. Усреднение по спиновым поляризациям.
- 17) Комптоновское рассеяние.
- 18) Структура диаграмм матрицы рассеяния. Собственно-энергетические и вершинные диаграммы.

- 19) Эффективные линии. Уравнения Дайсона для функций Грина. Графическое уравнение для вершинной функции.
- 20) Перенормировка массы электрона.
- 21) Перенормировка заряда в КЭД. Перенормируемость квантовой электродинамики.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. М., 1979. – 7 экз
- 2) Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. - М., Наука, 1988, 336 – 3 экз.
- 3) Зверев В. А. Физические основы формирования изображений волновыми полями. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapas.ru/biblio/new/fz.pdf>

б) дополнительная литература:

1. Цвеллик А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния. М., Физматлит, 2004, 320с. – 2 экз.
2. Вайнберг С. Квантовая теория полей, т.1. М., ФМЛ, 2015, 648 с. — 1 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) Учебно-образовательная физико-математическая библиотека EqWorld <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/quantum.htm>
- 2) УрО РАН Лаборатория теоретической физики М.В.Садовский Лекции по квантовой теории поля, 2002 -379 с. http://sadovskii.iep.uran.ru/RUSSIAN/LTF/Q_fields.pdf
- 3) Department of physic, University of California, Santa Barbara, Mark Srednicki Quantum Field Theory, 2006 -616 с. <http://web.physics.ucsb.edu/~mark/ms-qft-DRAFT.pdf>
- 4) Материалы кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ <http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/ft/index.html>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Специальные помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет";
- Лицензионное программное обеспечение (*Windows, Microsoft Office*);
- Обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются (при необходимости) электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, направленность 01.04.21 Лазерная физика.

Автор _____ Г.М. Максимова

Ответственный за направление подготовки _____ Вл.В. Кочаровский

Рецензент _____

Программа принята на заседании Ученого совета отделения нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН, протокол № ____ от _____ года.

Ученый секретарь ОНДиО _____ А.В. Коржиманов

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

ПК-2: Способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания результатов обучения	
	Зачтено	Не зачтено
<u>Знания:</u> Знать основные релятивистские уравнения; теорему Нетер; метод канонического квантования; электронный и фотонный пропагаторы	Успешная демонстрация знаний по базовым разделам дисциплины	Отсутствие знаний или фрагментарные знания без положительного результата применения
<u>Умения:</u> Уметь находить решение уравнения Дирака в простейших случаях; использовать теорему Нетер для определения динамических инвариантов полей; вычислять вакуумные средние от произведений операторов полей.	Успешная демонстрация умений по базовым разделам дисциплины	Отсутствие умений или фрагментарное присутствие умений без положительного результата
<u>Навыки:</u> Владеть теоретико-полевыми методами и использовать их (при необходимости) в исследованиях, связанных с физикой высоких энергий	Успешная демонстрация навыков решения задач на базе полученных в ходе освоения дисциплины знаний	Отсутствие навыков или фрагментарные навыки без положительного результата применения
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	50 – 100%	0 – 50 %

ПК-3: Способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки)

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения	
	Зачтено	Не зачтено
<u>Знания:</u> Знать матрицу рассеяния; коммутационные соотношения для операторов спинорного и электромагнитного полей; правила Фейнмана	Успешная демонстрация знаний по базовым разделам дисциплины	Отсутствие знаний или фрагментарные знания без положительного результата применения
<u>Умения:</u> Уметь выражать амплитуды рассеяния для основных электродинамических процессов через диаграммы Фейнмана	Успешная демонстрация умений по базовым разделам дисциплины	Отсутствие умений или фрагментарное присутствие умений без положительного результата
<u>Навыки:</u> Владеть теоретико-полевыми методами и использовать их (при необходимости) в исследованиях, связанных с физикой конденсированного состояния.	Успешная демонстрация навыков решения задач на базе полученных в ходе освоения дисциплины знаний	Отсутствие навыков или фрагментарные навыки без положительного результата применения
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	50 – 100%	0 – 50 %