

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И КОСМОФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ (ЧАСТЬ 1)

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
7	2	72	16	16	0		4	0	Э
Итого	2	72	16	16	0	0	4	0	

АННОТАЦИЯ

Изучаются базовые принципы квантовой теории поля, а также использование теории поля для расчётов физических процессов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является формирование базовых знаний по теории поля для дальнейшего использования в других областях теоретической и экспериментальной физики. Овладение техническими приёмами и методами расчётов электродинамических процессов с их последующим обобщением на другие теории поля. Знакомство и овладение техникой диаграмм Фейнмана.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс квантовой теории поля является первым и основополагающим курсом для систематического ознакомления студентов с современными представлениями в области взаимодействия элементарных частиц, со Стандартной моделью. Для освоения данной дисциплины обучающийся должен обладать знаниями и умениями в объеме нескольких курсов высшей школы. В частности,

– иметь хорошую подготовку по ряду математических дисциплин, таких математический анализ, линейная алгебра, дифференциальные и интегральные уравнения, теория групп. В частности, обучающийся должен быть знаком с такими понятиями как ряд, функция, функционал, поле, должен обладать знаниями достаточными для решения дифференциальных и интегральных уравнений, должен быть знаком со специальными и обобщёнными функциями, иметь базовые знания по теории групп;

– обладать знаниями в объёме не меньше стандартных курсов квантовой механики и классической электродинамики, уметь оперировать с такими понятиями как квантовый оператор, коммутационные соотношения, волновая функция, каноническое квантование, вторичное квантование, Бозе и Ферми статистика, понимать качественное поведение волновых функций в задаче о связанном состоянии и в задаче рассеяния, иметь представление об аналитических свойствах волновой функции в комплексной плоскости импульса и энергии;

– понимать сущность алгоритмических предписаний и демонстрировать умение действовать в соответствии с предложенным алгоритмом;

– иметь навыки устных, письменных, инструментальных вычислений.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
изучение научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по направлению исследований;	элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками,	ПК-9.1 [1] - Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий; <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-9.1[1] - знать методы поиска, хранения, обработки и анализа информации из различных источников и баз данных, методы представления ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;; У-ПК-9.1[1] - уметь осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий; В-ПК-9.1[1] - владеть методами поиска, хранения, обработки и анализа информации из различных источников и баз данных, методами представления ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;
проведение экспериментов по заданным методикам, обработка и анализ результатов;	элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное	ПК-9.2 [1] - Способен участвовать в научных исследованиях в области физики	З-ПК-9.2[1] - Знать методы исследования в области физики частиц и ядра, космофизике и

	состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схмотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками,	частиц и ядра, космофизике и космологии, к самостоятельному определению необходимых средств и к их использованию для решения поставленных задач <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	космологии, методы определения необходимых средств и их использования для решения поставленных задач; У-ПК-9.2[1] - Уметь применять методы исследования в области физики частиц и ядра, космофизике и космологии, уметь применять методы определения необходимых средств и их использования для решения поставленных задач; В-ПК-9.2[1] - Владеть методами исследования в области физики частиц и ядра, космофизике и космологии, и методы определения необходимых средств и их использования для решения поставленных задач
проведение экспериментов по заданным методикам, обработка и анализ результатов;	элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схмотехника, электронные системы ядерных и физических	ПК-9.4 [1] - Способен к общему физическому анализу процессов взаимодействия элементарных частиц, их эффектов на коллайдерах и в космическом пространстве; <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-9.4[1] - Знать методы физического анализа процессов взаимодействия элементарных частиц, их эффектов на коллайдерах и в космическом пространстве;; У-ПК-9.4[1] - Уметь выполнять физический анализ процессов взаимодействия элементарных частиц, их эффектов на коллайдерах и в космическом пространстве;; В-ПК-9.4[1] - Владеть методами

	установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками,		физического анализа процессов взаимодействия элементарных частиц, их эффектов на коллайдерах и в космическом пространстве;
проектный			
участие в комплексном проектировании по принципу CDIO: планирование, проектирование, производство и применение реальных систем, процессов и продуктов, применению принципа в атомной отрасли и других высокотехнологичных отраслях;	разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ,	ПК-9.7 [1] - Способен к участию в комплексном проектировании по принципу CDIO: планирование, проектирование, производство и применение реальных систем, процессов и продуктов, применению принципа в атомной отрасли и других высокотехнологичных отраслях; <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-9.7[1] - методы комплексного проектировании по принципу CDIO: планирование, проектирование, производство и применение реальных систем, процессов и продуктов; У-ПК-9.7[1] - применять принцип CDIO при комплексное проектирование в атомной отрасли и других высокотехнологичных отраслях; В-ПК-9.7[1] - методами комплексного проектировании по принципу CDIO, методами применения принципа в атомной отрасли и других высокотехнологичных отраслях
сбор и анализ информационных источников и исходных данных для проектирования приборов и установок;	элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители	ПК-9.8 [1] - Способен проводить основные расчёты при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также контроль их соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики;	З-ПК-9.8[1] - методы проведения расчётов при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также методы контроля их соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики;; У-ПК-9.8[1] -

	заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками,	<i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	проводить расчёты при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также осуществлять контроль их соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики;; В-ПК-9.8[1] - методами проведения расчётов при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также методами контроля их соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики;
--	---	--	---

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Основы	1-8	8/8/0	КИ-8 (25)	25	КИ-8	3-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.1, 3-ПК-9.2,

							У-ПК-9.2, В-ПК-9.2, З-ПК-9.4, У-ПК-9.4, В-ПК-9.4, З-ПК-9.7, У-ПК-9.7, В-ПК-9.7, З-ПК-9.8, У-ПК-9.8, В-ПК-9.8
2	Правила Феймана	9-16	8/8/0	КИ-16 (25)	25	КИ-16	З-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.1, З-ПК-9.2, У-ПК-9.2, В-ПК-9.2, З-ПК-9.4, У-ПК-9.4, В-ПК-9.4, З-ПК-9.7, У-ПК-9.7, В-ПК-9.7, З-ПК-9.8, У-ПК-9.8, В-ПК-9.8
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	З-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.1, З-ПК-9.2, У-ПК-9.2, В-ПК-9.2, З-ПК-9.4, У-ПК-9.4, В-ПК-9.4, З-ПК-9.7, У-ПК-9.7, В-ПК-9.7, З-ПК-9.8, У-ПК-9.8, В-ПК-9.8

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	16	16	0
1-8	Основы	8	8	0
1 - 2	Введение Определения и договорённости. Замечание об общих принципах построения теории поля. Группа Лоренца в квантовой теории поля. Неприводимые представления собственной группы Лоренца. Скалярное, спинорное и векторное поля. Преобразование инверсии пространства и неприводимые представления полной группы Лоренца.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 8	Электромагнитное поле Уравнения Максвелла. Калибровка Лоренца. Общее решение уравнений Максвелла в калибровке Лоренца. Закон Кулона. Лагранжиан и тензор энергии-импульса электромагнитного поля. Спектральное разложение вектор-потенциала. Продольные и скалярные фотоны. Оператор спина фотона. Волновая функция фотона. Система двух фотонов. Квантование нерелятивистского гармонического осциллятора в голоморфном представлении. Когерентные состояния. Квантование свободного электромагнитного поля. Коммутатор вектор-потенциалов. Поляризация фотона.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Правила Феймана	8	8	0
9 - 16	Электрон-позитронное поле Биспиноры и матрицы Дирака. Лагранжиан электрон-позитронного поля. Уравнение Дирака. Калибровочная инвариантность и ковариантная производная. Тензор энергии-импульса электрон-позитронного поля. Гамильтониан Дирака. Электронные и позитронные решения уравнения Дирака. Интерпретация Дирака. Нерелятивистское разложение уравнения Дирака во внешнем поле. Уравнение Паули и гиромагнитное отношение электрона. Уравнение Дирака во внешнем центральном поле. Кулоновская задача, спектр водородоподобного атома. Зарядовое сопряжение. Истинно нейтральные частицы. Спиральные состояния. Свободное уравнение Дирака. Решения для положительно-частотных и отрицательно-частотных состояний. Общее решение уравнения Дирака. Поляризационные свойства электрон-позитронного поля. Релятивистская матрица плотности. Различные представления матриц Дирака. Левые и правые состояния. Квантование поля Ферми. Ферми-статистика и антикоммутатор фермионных операторов. Оператор заряда и оператор 4-импульса поля. Нормальное упорядочение операторов. Антикоммутатор фермионных полей. Зарядовое сопряжение (C-преобразование). Зарядовая чётность поля.	Всего аудиторных часов		
		8	8	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Пространственное отражение (Р-преобразование). Внутренняя чётность поля. Обращение времени (Т-преобразование). СРТ-теорема. Система двух фермионов.			
--	--	--	--	--

Сокращённые наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе проведения занятий используются активные и интерактивные формы обучения с применением LMS, электронных ресурсов и информационно-коммуникационных технологий. Проводится постоянный мониторинг знаний студентов, что позволяет корректировать процесс изложения материала, контролировать процесс обучения и мотивирует студентов к самостоятельной подготовке.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-9.1	З-ПК-9.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.1	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-9.2	З-ПК-9.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.2	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-9.4	З-ПК-9.4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.4	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.4	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-9.7	З-ПК-9.7	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.7	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.7	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-9.8	З-ПК-9.8	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.8	Э, КИ-8, КИ-16

	В-ПК-9.8	Э, КИ-8, КИ-16
--	----------	----------------

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б 18 Квантовая механика : учебное пособие, Байков Ю. А., Кузнецов В. М., Москва: Лаборатория знаний, 2020

2. ЭИ Б 74 Общие принципы квантовой теории поля : учебное пособие, Логунов А. А. [и др.], Москва: Физматлит, 2006
3. 539.1 В93 Современное состояние физики элементарных частиц : курс лекций, Высоцкий М.И., Москва: Издательский дом МЭИ, 2015

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 530 Л22 Теоретическая физика Т.2 Теория поля, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2012
2. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2024

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

1. Необходимо освоить вычислительный аппарат квантовой теории поля, так чтобы написание матричного элемента по диаграмме Фейнмана не представляло труда.

2. Необходимо держать в голове вид всех основных элементов (пропагаторов, вершин) с тем, чтобы иметь возможность быстро составить представление о сходимости или расходимости того или иного петлевого интеграла, поведении по энергии амплитуды (сечения) того или иного физического процесса и т.д.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Основная задача курса – овладение студентами основными вычислительными методами квантовой теории поля.

Подчеркнуть следующие ключевые моменты:

- Квантовая теория поля одновременно является логическим продолжением как нерелятивистской квантовой механики, так и классической теории поля.

- Вторичное квантование, которое использовалось в нерелятивистской квантовой механике лишь в качестве дополнительного инструмента, является единственным доступным методом в квантовой теории поля ввиду несохранения числа частиц.

Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. Обычно студенты сталкиваются с определёнными трудностями при изучении биспиноров и матриц Дирака, а также при первом знакомстве с диаграммной техникой Фейнмана, в связи с чем следует уделять больше внимания упражнениям на вычисление (анти)коммутаторов и следов матриц Дирака, а также на написание матричного элемента по диаграмме. Предлагаемое для самостоятельного выполнения студентами домашнее задание подразумевает самостоятельный разбор как ранее изученного на лекциях и семинарских занятиях материала, так и выполнение самостоятельных расчётов. Основными техническими навыками, приобретаемыми студентами в процессе изучения курса, являются диаграммная техника Фейнмана, а также навыки вычисления вероятностей различных электродинамических процессов в древесном приближении, а также навыки вычисления радиационных поправок к таким процессам.

Автор(ы):

Нефедьев Алексей Владимирович, к.ф.-м.н.

Новиков Виктор Александрович, д.ф.-м.н., с.н.с.