

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

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
577 ОТДЕЛЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОФИСА  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ (М)

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

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
8	2	72	20	20	0		32	0	3
Итого	2	72	20	20	0	15	32	0	

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина содержит принципы распараллеливания вычислительных задач квантовой электродинамики отдельных зарядов и поля с ограниченными видами взаимодействий, предназначенных для создания квантовых компьютеров и иных приборов обработки квантовой информации. Дисциплина включает в себя: конечномерные модели КЭД, элементы теории открытых квантовых систем в марковском окружении, компьютерные методы моделирования много-кубитных систем зарядов и поля. Акцент делается на изучении состояний атомных ансамблей, устойчивых к декогерентности и допускающих простое управление.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина содержит принципы распараллеливания вычислительных задач квантовой электродинамики отдельных зарядов и поля с ограниченными видами взаимодействий, предназначенных для создания квантовых компьютеров и иных приборов обработки квантовой информации. Дисциплина включает в себя: конечномерные модели КЭД, элементы теории открытых квантовых систем в марковском окружении, компьютерные методы моделирования много-кубитных систем зарядов и поля. Акцент делается на изучении состояний атомных ансамблей, устойчивых к декогерентности и допускающих простое управление.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс является односеместровым. Для понимания курса необходимо успешное усвоения материалов других курсов, посвященных введению в квантовую физику.

### 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
экспертно-аналитический			
Сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием	Результаты исследований, научные и аналитические отчеты, научные	ПК-12.1 [1] - Способен свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической	З-ПК-12.1[1] - Знать основные методики, цели и задачи построения аналитических и

современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований	публикации	информации в областях квантовых оптических технологий, физике квантовой коммуникации и квантовых вычислений, лазерной физики и нелинейной оптики  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.022	количественных моделей процессов в областях квантовой и лазерной физики.; У-ПК-12.1[1] - Уметь строить аналитические и количественные модели процессов в в областях квантовой и лазерной физики и выбирать на их основе пути решения теоретических и практических проблем.; В-ПК-12.1[1] - Владеть навыками построения аналитических и количественных моделей процессов в областях квантовой и лазерной физики и выбора на их основе путей решения теоретических и практических проблем.
научно-исследовательский			
Участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок; участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты	Природные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях	ПК-12.3 [1] - Способен к участию в проведении наблюдений и измерений, выполнению эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий в области физики квантовых, лазерных и оптических технологий  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-12.3[1] - Знать основные достижения квантовой и лазерной физики, оптических технологий, а также возможности современной экспериментальной техники; У-ПК-12.3[1] - Уметь применять основные модели квантовой и лазерной физики для оценки параметров эксперимента; В-ПК-12.3[1] - Владеть аппаратом и методологией теоретической физики, а также объемом знаний, дающем целостное

			представление о предмете и позволяющем осуществлять профессиональную деятельность в области физики квантовых, лазерных и оптических технологий
организационно-управленческий			
Контроль соответствия выполненных работ требованиям технического задания и соотношения получаемых результатов с известными мировыми разработками и образцами в данной области исследований; составление технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование и т.п.), а также установленной отчетности по утвержденным формам	Проектная и рабочая техническая документация, отчеты по проекту, документация для системы менеджмента качества предприятия	ПК-12.4 [1] - Способен организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых, лазерных и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-12.4[1] - Знать аппарат и методологию теоретического и математического исследования в области физики квантовых, лазерных и оптических технологий, а также методы разработки и оформления соответствующей документации; У-ПК-12.4[1] - Уметь формулировать исходные данные и выбирать и обосновывать научно-технические и организационные решения в области физики квантовых, лазерных и оптических технологий, разрабатывать и оформлять соответствующую документацию, эффективно взаимодействовать со специалистами смежных профилей.; В-ПК-12.4[1] - Владеть навыками формулировать исходные данные и выбирать и обосновывать научно-технические и

			организационные решения в области физики квантовых, лазерных и оптических технологий, навыками разработки и оформления соответствующей документации, навыками эффективного взаимодействия со специалистами смежных профилей.
--	--	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	8 Семестр						
1	Первый раздел	1-8	10/10/0		25	КИ-8	З-ПК-12.1, У-ПК-12.1,

							В-ПК-12.1, 3-ПК-12.3, У-ПК-12.3, В-ПК-12.3, 3-ПК-12.4, У-ПК-12.4, В-ПК-12.4
2	Второй раздел	9-15	10/10/0		25	КИ-15	3-ПК-12.1, У-ПК-12.1, В-ПК-12.1, 3-ПК-12.3, У-ПК-12.3, В-ПК-12.3, 3-ПК-12.4, У-ПК-12.4, В-ПК-12.4
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		20/20/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	3	3-ПК-12.1, У-ПК-12.1, В-ПК-12.1, 3-ПК-12.3, У-ПК-12.3, В-ПК-12.3, 3-ПК-12.4, У-ПК-12.4, В-ПК-12.4

\* – 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
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	20	20	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	10	10	0
1 - 8	<b>Первый раздел</b> Уравнения Максвелла. Калибровки, лоренцевская калибровка. Потенциал поля как четырехмерный вектор, его релятивистская инвариантность. Векторная и скалярная компоненты поля. Кулоновский потенциал. Квантование поля. Понятие о фотоне данной моды. Однофотонные и двухфотонные состояния. Сжатые и	Всего аудиторных часов		
		10	10	0
		Онлайн		
		0	0	0

	<p>когерентные состояния. Число фотонов и частота. Гармонические осцилляторы поля. Квантование поля через интегралы по путям Фейнмана. Метод возмущений в применении к полю. Взаимодействие зарядов и поля как возмущение.</p> <p>Дипольное приближение и его границы применимости. Сильные и слабые взаимодействия. Понятие темного атомного состояния.</p> <p>Обобщения модели Джейнса -Каммингса и их физические реализации. Приближение вращающейся волны и условие его применимости. Ридберговские атомы.</p> <p>Модель Тависа-Каммингса. Темные, светлые и невидимые состояния атомных ансамблей. Двухуровневые и многоуровневые атомы. Ансамблевые осцилляции Раби.</p> <p>Оптическая проводимость графов в классическом и квантовом случаях.</p>			
<b>9-15</b>	<b>Второй раздел</b>	10	10	0
9 - 15	<b>Второй раздел</b> Квантовые марковские процессы и их описание через операторы Крауса и уравнение Линдблада (основное квантовое уравнение). Стабилизация квантовых состояний при декогерентности и ее виды. Роль темных состояний ансамблей двухуровневых атомов. Квантовые эффекты, имеющие практическое применение, описываемые в модели ТСН: dephasing assisted transport и квантовое бутылочное горлышко. Связь между ними. Структура темных состояний в конечномерных моделях КЭД. Построение и компьютерное моделирование квантовых гейтов на фотонных состояниях.	Всего аудиторных часов		
		10	10	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные 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 соответствии с требованиями ФГОС ВО, курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая

тесты) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

## 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-12.1	З-ПК-12.1	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-12.1	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-12.1	З, КИ-8, КИ-15
ПК-12.3	З-ПК-12.3	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-12.3	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-12.3	З, КИ-8, КИ-15
ПК-12.4	З-ПК-12.4	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-12.4	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-12.4	З, КИ-8, КИ-15

## 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-ех 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,
60-64			



			нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	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 К 31 Численные методы квантовой статистики : учебное пособие, Красавин А. В., Кашурников В. А., Москва: Физматлит, 2010

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

### 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 успешного усвоения курса необходимо присутствовать на всех лекционных занятиях, выполнять домашнее задание и сдать итоговую работу.

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Общие положения.

1. Целью лекционных занятий по данному курсу является овладение необходимыми теоретическими знаниями об экспериментальном моделировании квантовых систем.

2. Главной целью практических занятий является закрепление полученных на лекциях знаний и умений, это достигается путем выполнения практических самостоятельных работ и совместных практических занятий.

Автор(ы):

Ляхова Яна Сергеевна