

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 ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

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
5	4	144	32	48	0	28	0	0	Э
Итого	4	144	32	48	0	28	0	0	

## АННОТАЦИЯ

Рабочая программа учебной дисциплины предусматривает профессионально-ориентированное углублённое изучение нерелятивистской квантовой механики и основ квантовой теории релятивистских частиц и электромагнитного поля. В рамках учебной дисциплины изучаются как методы точного решения задач квантовой механики, так и приближённые подходы к описанию квантовых явлений. Программа отражает современные тенденции и требования к обучению и практическому владению математическим аппаратом квантовой механики, формированию необходимых умений и навыков для теоретического анализа, моделирования и оценок свойств реальных квантовых систем.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины – познакомиться со свойствами квантовых систем, отличными от свойств классических систем, со способами описания нерелятивистских квантовых систем, а также получить представление о методах квантового описания электромагнитного поля и релятивистских частиц.

Задачи освоения курса состоят в знакомстве с базовыми экспериментальными фактами в области квантовой физики, с уравнениями Шредингера, Гейзенберга, Паули, Дирака, описывающими квантовые явления, в овладении математическими методами, позволяющими решать квантовые уравнения и описывать квантовые явления.

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

Дисциплина базируется на дисциплинах - математический анализ: многомерный анализ, интегралы и ряды, кратные интегралы и теория поля, гармонический анализ; линейная алгебра; дифференциальные уравнения; теория функций комплексного переменного; уравнения математической физики; общая физика: механика, термодинамика и молекулярная физика, электричество и магнетизм, оптика, квантовая физика; теоретическая физика: теоретическая механика, теория поля.

Дисциплина предшествует изучению дисциплин: статистическая физика; ядерная физика, физика элементарных частиц, квантовая теория поля, теория фундаментальных взаимодействий.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1 [1] – Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы	3-ОПК-1 [1] – Знать базовые законы естественнонаучных дисциплин; основные математические законы; основные физические явления, процессы, законы и границы их применимости; сущность основных химических законов и явлений; методы математического моделирования,

математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	<p>теоретического и экспериментального исследования  У-ОПК-1 [1] – Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат  В-ОПК-1 [1] – Владеть математическим аппаратом для разработки моделей процессов и явлений, решения практических задач профессиональной деятельности; навыками использования основных общефизических законов и принципов</p>
УК-1 [1] – Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	<p>3-УК-1 [1] – Знать: методики сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа  У-УК-1 [1] – Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников  В-УК-1 [1] – Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач</p>
УКЕ-1 [1] – Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах	<p>3-УКЕ-1 [1] – знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования  У-УКЕ-1 [1] – уметь: использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи  В-УКЕ-1 [1] – владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами</p>

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			

<p>Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности</p>	<p>Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики. безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;</p>	<p>ПК-4 [1] - Способен применять стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>З-ПК-4[1] - Знать стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов; У-ПК-4[1] - Уметь применять стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов; В-ПК-4[1] - Владеть навыками работы со стандартными пакетами прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов</p>
--	--	--	---

#### 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>5 Семестр</i>							
1	Первый раздел	1-8	16/24/0		25	КИ-8	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1
2	Второй раздел	9-16	16/24/0		25	КИ-16	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1
<i>Итого за 5 Семестр</i>							
	<b>Контрольные мероприятия за 5 Семестр</b>				50	Э	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1

\* – 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>5 Семестр</i>	32	48	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	16	24	0
1 - 8	<b>Основные понятия квантовой механики</b> Волновая функция, амплитуда и плотность вероятности. Волна де Бройля. Волновая механика, уравнение Шредингера. Кvantовые состояния, принцип суперпозиции. Векторы состояний, их связь с векторами-столбцами и волновыми функциями. Матричная механика. Операторы физических величин, их собственные значения и наблюдаемые величины. Дискретные и непрерывные спектры. Распределения вероятностей, средние значения, дисперсии наблюдаемых величин. Теория представлений, координатное и импульсное представления. Одновременная измеримость физических величин. Соотношения неопределенности. Классический предел, квантовые скобки Пуассона. Квантовая динамика, уравнение Гейзенберга, оператор эволюции. Интегралы движения. Однородность времени и пространства, изотропия пространства, законы сохранения. Спин, спиноры.	Всего аудиторных часов 16 Онлайн 0	24 0 0	0
<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	16	24	0
9 - 16	<b>Квантовая механика простых систем и квантовая теория рассеяния</b> Линейный гармонический осциллятор, операторы повышения и понижения. Задача двух тел. Оператор орбитального момента, пространственное квантование, сферические функции. Описание движения частицы в центральном поле в сферических координатах, уравнение для радиальной функции. Водородоподобный атом, энергетический спектр, волновые функции стационарных состояний, главное, радиальное, орбитальное и магнитное квантовые числа, кулоновское (случайное) вырождение. Задача рассеяния, амплитуда рассеяния. Метод парциальных волн, фазы рассеяния, критерий медленности частиц. Сечения упругого и неупругого взаимодействия. Полное сечение взаимодействия, оптическая теорема. Описание свободного электромагнитного поля с помощью обобщенных координат и обобщенных импульсов, функция Гамильтона свободного поля. Квантование электромагнитного поля, гамильтониан	Всего аудиторных часов 16 Онлайн 0	24 0 0	0

	электромагнитного поля и его собственные значения, фотоны. Операторы векторного потенциала и напряжённостей электрического и магнитного полей.			
--	--	--	--	--

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

## ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>5 Семестр</i>
1 - 8	<p><b>Основные понятия квантовой механики</b></p> <p>Волновая функция, амплитуда и плотность вероятности. Волна де Броиля. Волновая механика, уравнение Шредингера. Квантовые состояния, принцип суперпозиции. Векторы состояний, их связь с векторами-столбцами и волновыми функциями. Матричная механика. Операторы физических величин, их собственные значения и наблюдаемые величины. Дискретные и непрерывные спектры. Распределения вероятностей, средние значения, дисперсии наблюдаемых величин. Теория представлений, координатное и импульсное представления. Одновременная измеримость физических величин. Соотношения неопределенности. Классический предел, квантовые скобки Пуассона. Квантовая динамика, уравнение Гейзенберга, оператор эволюции. Интегралы движения. Однородность времени и пространства, изотропия пространства, законы сохранения. Спин, спиноры.</p>
9 - 16	<p><b>Квантовая механика простых систем и квантовая теория рассеяния</b></p> <p>Линейный гармонический осциллятор, операторы повышения и понижения. Задача двух тел. Оператор орбитального момента, пространственное квантование, сферические функции. Описание движения частицы в центральном поле в сферических координатах, уравнение для радиальной функции. Водородоподобный атом, энергетический спектр, волновые функции стационарных состояний, главное, радиальное, орбитальное и магнитное квантовые числа, кулоновское (случайное) вырождение. Задача рассеяния, амплитуда рассеяния. Метод парциальных волн, фазы рассеяния, критерий медленности частиц. Сечения упругого и неупругого взаимодействия. Полное сечение взаимодействия, оптическая теорема. Описание свободного электромагнитного поля с помощью обобщенных координат и обобщенных импульсов, функция Гамильтона свободного поля. Квантование электромагнитного поля, гамильтониан электромагнитного поля и его собственные значения, фотоны. Операторы векторного потенциала и напряжённостей электрического и магнитного полей.</p>

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Занятия проводятся в интерактивной форме. Во время лекции лектор следит за аудиторией, оценивает, насколько внимательно и заинтересовано студенты воспринимают материал, обращается к аудитории с вопросами как на знание пройденного материала, так и на понимание обсуждаемой темы, при необходимости даёт дополнительные объяснения. По материалу, представленному на лекциях, составляются тестовые вопросы, призванные помочь студентам оценить, насколько они поняли материал лекции. На семинарах, следующих за лекциями, проводятся проверки ответов студенты на эти вопросы. При проведении семинаров основная часть работы по решению задач выполняется студентами самостоятельно, полученные результаты воспроизводятся на доске и обсуждаются всей группой. По каждой теме выдаются домашние задания, чтобы каждый студент мог проверить, понял ли он материал, разбираясь на семинаре, и имел возможность улучшить навыки решения задач. В середине и в конце семестра проводится проверка, насколько полно и успешно студенты решили задачи задания. В состав задания включается некоторое число задач повышенной сложности, выходящие за рамки программы, решения этих задач не спрашиваются при приёме заданий. Но студент, заинтересовавшийся определённым разделом курса, может, решая эти задачи, улучшить своё понимание предмета. В середине и в конце семестра проводятся две контрольные работы, на которых предлагаются задачи, аналогичные тем, которые разбирались на семинарах и включались в состав домашних заданий.

## 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)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ОПК-1	З-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-16	З, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-16	З, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-1	Э, КИ-8, КИ-16	З, КИ-8, КИ-15
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-16	З, КИ-8, КИ-15
УК-1	З-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16	З, КИ-8, КИ-15
	У-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16	З, КИ-8, КИ-15
	В-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16	З, КИ-8, КИ-15
УКЕ-1	З-УКЕ-1	Э, КИ-8, КИ-16	З, КИ-8, КИ-15
	У-УКЕ-1	Э, КИ-8, КИ-16	З, КИ-8, КИ-15
	В-УКЕ-1	Э, КИ-8, КИ-16	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 иочно 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 твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69		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	3 – «удовлетворительно»		
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. 530 Б43 Задачи по теоретической физике : учебное пособие для вузов, Бурмистров С.Н., Белоусов Ю.М., Тернов А.И., Долгопрудный: Интеллект, 2013
2. ЭИ Е 92 Квантовая механика : Учебное пособие для вузов, Ефремов Ю. С., Москва: Юрайт, 2021
3. ЭИ Д 30 Математические основы квантовой механики : учебное пособие, Демидович Б. П., Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2024

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 З-48 Лекции по квантовой механике : , Зелевинский В.Г., Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2002
2. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Ландау Л.Д., М.: Наука, 1989

## 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 освоения курса студенты должны посещать лекции и семинары, а также работать самостоятельно. К формам самостоятельной работы относится в первую очередь решение задач, входящих в задания. Самостоятельные занятия включают в себя также повторение материала лекций, семинарских занятий и подготовку к промежуточным тестированиям, которые проводятся для текущего контроля за усвоением материала. Для лучшего понимания разделов курса рекомендуется также самостоятельно изучать соответствующие разделы учебных пособий из списков основной и дополнительной литературы, включенных в программу курса.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

При чтении лекций и проведении семинаров преподавателям рекомендуется поддерживать непрерывную связь с аудиторией, отвечать на возникающие вопросы, при необходимости разъяснять трудные места. При проведении семинаров рекомендуется давать краткое теоретическое пояснение к каждой поставленной задаче. После того, как в общем обсуждении намечены способы решения задачи, важно организовать работу так, чтобы каждый студент мог выполнить часть вычислений самостоятельно, и помочь студентам, у которых возникают затруднения, их преодолеть. В итоге решение задачи должно быть представлено на доске и обсуждено с необходимой подробностью. Преподавателям, читающим лекции, рекомендуется составлять для студентов вопросы по изложенному материалу. Отвечая на эти вопросы, студенты могут понять, насколько полно они поняли раздел курса, изложенный на лекции.

Автор(ы):

Барабанов Алексей Леонидович