

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

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИФТИС

Протокол № 1

от 28.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 27.03.03 Системный анализ и управление

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	KCP, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
5	5	180	32	48	0	46	0	0	Э
Итого	5	180	32	48	0	0	46	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Курс нерелятивистской квантовой механики является частью фундаментального цикла основных разделов теоретической физики, изучаемых студентами на 5 семестре. Курс построен на основе классического учебника Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица и включает изложение как принципов квантовой механики, так и значительного числа приложений. Изложение и объем материала расчитаны на подготовку специалистов, занимающихся исследовательской работой в экспериментальной и теоретической физике.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью курса является ознакомление студентов с основными понятиями и принципами квантовой механики и ее математическим аппаратом. В результате усвоения курса студенты будут способны применять методы квантовой механики к исследованию простейших квантовых систем: атома водорода, ротора, осциллятора и др., а также для решения простейших задач. Овладение квантовой механикой в таком объеме позволит студентам в будущем изучать другие разделы современной физики.

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

Для освоения курса студентам необходимы знания классической механики и электродинамики, а также знание соответствующих разделов математики: линейной алгебры, теории операторного исчисления и уравнений математической физики. Знания, полученные при изучении курса квантовой механики, необходимы для работы профессиональной работы и освоения последующих курсов теоретической физики: статистической физики, релятивистской квантовой механики, теоретической физики твердого тела. Кроме того, знание квантовой механики совершенно необходимо при освоении многих профессиональных дисциплин по теоретической и экспериментальной физике, изучаемых студентами старших курсов.

### **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 анализировать задачи профессиональной деятельности на основе положений, законов и методов в области естественных наук и математики	З-ОПК-1 [1] – знать: теорию систем и системный анализ; теорию межличностной и групповой коммуникации в деловом взаимодействии; предметную область и специфику деятельности организации в объеме, достаточном для решения задач бизнес-анализа. У-ОПК-1 [1] – уметь: определять связи и зависимости между элементами информации бизнес-анализа; применять информационные технологии в объеме, необходимом для целей бизнес-анализа; анализировать внутренние (внешние) факторы и условия, влияющие на деятельность организации.

	B-ОПК-1 [1] – владеть навыками: анализа решений с точки зрения достижения целевых показателей решений оценка ресурсов, необходимых для реализации решений
УКЕ-1 [1] – Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах	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

#### 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.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных

			исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
--	--	--	--

## 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 оформления компетенции
<i>5 Семестр</i>							
1	Основные понятия квантовой механики. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Одномерное движение.	1-8	16/24/0		25	к.р-8	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, З-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1
2	Момент импульса. Движение в центральном поле.	9-16	16/24/0		25	к.р-16	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1,

	Атом водорода. Спин					З-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1
	<i>Итого за 5 Семестр</i>		32/48/0		50	
	<b>Контрольные мероприятия за 5 Семестр</b>			50	Э	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, З-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
к.р	Контрольная работа
Э	Экзамен

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>5 Семестр</i>	32	48	0
1-8	<b>Основные понятия квантовой механики. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Одномерное движение.</b>	16	24	0
1 - 3	<b>Операторы и операции с ними. Волновая функция</b> Вводится понятие операторов, рассматриваются их свойства и возможные операции с ними. Вводится важнейшее понятие квантовой механики - волновая функция как способ наиболее полного описания квантовомеханической системы. Рассматриваются основные свойства волновой функции. Особое внимание уделяется трактовке квадрата её амплитуды как вероятности результата соответствующего измерения.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	6 0	0
4 - 5	<b>Гамильтониан. Оператор импульса. Представление Гайзенберга. Уравнение Шредингера</b> Вводится понятие оператора Гамильтона, собственное значение которого имеет смысл полной энергии квантовомеханической системы. Вводится понятие оператора импульса, рассматриваются способы импульсного и координатного описания квантовомеханических систем. С помощью оператора Гамильтона строится уравнение Шредингера.	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	6 0	0
6	<b>Основные свойства уравнения Шредингера. Стационарные состояния. Волновой пакет. Соотношение неопределенностей</b> Рассматриваются основные свойства уравнения	Всего аудиторных часов 4 Онлайн 0	6 0	0

	Шредингера и стационарные состояния как простейший пример его применения к описанию квантовомеханических систем с постоянным по времени потенциалом. Вводится понятие волнового пакета. Из общих соображений выводится соотношение неопределённостей Гайзенберга для различных пар сопряжённых величин (импульс-координата, энергия-время).									
7 - 8	<p><b>Одномерное движение. Потенциальная яма. Линейный гармонический осциллятор.</b></p> <p>В качестве примера рассматривается квантовомеханическая система с одной степенью свободы. Вводится понятие потенциального барьера, потенциальной ямы. Рассматривается важнейший чисто квантовый эффект - туннелирование. Особое внимание уделяется линейному гармоническому осциллятору, для которого строится полное решение уравнения Шрёдингера с применением свойств рядов и полиномов Эрмита. Строится энергетический спектр квантового осциллятора, на примере которого проявляется ещё один чисто квантовый эффект - ненулевая энергия основного состояния, так называемые "нулевые колебания".</p>	<p>Всего аудиторных часов</p> <table border="1"> <tr> <td>4</td><td>6</td><td>0</td></tr> </table> <p>Онлайн</p> <table border="1"> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	4	6	0	0	0	0		
4	6	0								
0	0	0								
9-16	<b>Момент импульса. Движение в центральном поле. Атом водорода. Спин</b>	16	24	0						
9 - 10	<p><b>Момент импульса. Собственные значения и векторы. Сложение моментов</b></p> <p>Вводится понятие момента импульса в квантовой механике, рассматриваются его свойства, собственные значения и проекции на выделенные пространственные оси. Строится представление квантовомеханической системы на основе собственных векторов момента импульса. Рассматривается сложение моментов в квантовой механике.</p>	<p>Всего аудиторных часов</p> <table border="1"> <tr> <td>4</td><td>6</td><td>0</td></tr> </table> <p>Онлайн</p> <table border="1"> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	4	6	0	0	0	0		
4	6	0								
0	0	0								
11	<p><b>Движение в центральном поле. Общие свойства. Разложение плоской волны по сферическим.</b></p> <p>Рассматриваются квантовомеханические системы со сферически симметричным потенциалом. Отдельно выводится уравнение для радиальной функции, строятся её асимптотики и полный спектр состояний. Показывается, что волновая функция, описывающая квантовомеханическую систему с центральным полем, факторизуется по сферическим функциям.</p>	<p>Всего аудиторных часов</p> <table border="1"> <tr> <td>4</td><td>6</td><td>0</td></tr> </table> <p>Онлайн</p> <table border="1"> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	4	6	0	0	0	0		
4	6	0								
0	0	0								
13 - 14	<b>Атом водорода. Связанные состояния. Непрерывный спектр.</b>	<p>Всего аудиторных часов</p> <table border="1"> <tr> <td>4</td><td>6</td><td>0</td></tr> </table> <p>Онлайн</p> <table border="1"> <tr> <td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	4	6	0	0	0	0		
4	6	0								
0	0	0								
15 - 16	<b>Спин. Матрицы Паули.</b>	<p>Всего аудиторных часов</p> <table border="1"> <tr> <td>4</td><td>6</td><td>0</td></tr> </table>	4	6	0					
4	6	0								

	понятий - спин. Рассматривается оператор спина и его собственные значения. Показывается, что в матричном представлении операторам спина отвечают так называемые матрицы Паули. Вводится понятие спинора.	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 ходе изучения дисциплины используются традиционные образовательные технологии: лекции, семинарские занятия с разбором задач и примеров, самостоятельная работа и выполнение задания.

## 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)
ОПК-1	З-ОПК-1	Э, к.р-8, к.р-16
	У-ОПК-1	Э, к.р-8, к.р-16
	В-ОПК-1	Э, к.р-8, к.р-16
УКЕ-1	З-УКЕ-1	Э, к.р-8, к.р-16
	У-УКЕ-1	Э, к.р-8, к.р-16
	В-УКЕ-1	Э, к.р-8, к.р-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-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. ЭИ М91 Квантовая механика : , Муравьев С.Е., Москва: МИФИ, 2009
2. ЭИ П 60 Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB : учебное пособие, Поршнев С. В., Санкт-Петербург: Лань, 2021
3. ЭИ К 73 Компьютерное моделирование физических процессов с использованием Matlab : учебное пособие для вузов, Коткин Г. Л., Москва: Юрайт, 2021
4. 53 К17 Руководство к решению задач по физике "Основы квантовой физики. Строение вещества. Атомная и ядерная физика" : учебное пособие для вузов, Калашников Н.П., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

5. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2024

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 Ф73 Задачи по квантовой механике Т.1 , Флюгге З., : URSS, 2008
2. 530 Л22 Теоретическая физика Т.3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория, Ландау Л.Д., : Физматлит, 2004

#### 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**

Методические рекомендации по освоению теоретического материала

Для успешного изучения курса необходимо придерживаться определенной методики занятий. Основное условие успеха — систематические занятия.

Для успешного освоения теоретической части курса необходимо регулярно посещать лекции и вести конспект. После каждой лекции следует внимательно разбирать лекционный материал, причём при необходимости следует проделывать некоторые дополнительные выкладки, если такие были оставлены лектором для самостоятельной работы. Перед началом каждой лекции имеет смысл просмотреть конспект, чтобы усвоение нового материала проходило лучше, так как в большинстве случаев изложение опирается на материал, прочитанный на предыдущих занятиях.

Для полного освоения курса недостаточно изучать лишь лекционный материал. В ходе освоения курса следует читать книги, предложенные в списке литературы по курсу. Настоятельно рекомендуется также использовать литературу, обозначенную как «дополнительная», а также самостоятельно или с помощью преподавателя искать и другие источники. При работе с литературой следует проделывать все или хотя бы основные выкладки. Важно осознавать, что только самостоятельно проделанные выкладки приводят к пониманию материала.

Методические рекомендации для подготовки к семинарским занятиям и решению задач

Программа курса и семестровый календарный план составлены так, что темы семинарских занятий следуют за темами лекций. И программа курса, и семестровый

календарный план доступны каждому студенту на сайте учебного управления университета. Подготовиться к очередному семинарскому занятию - это, прежде всего, проработать лекционный материал, согласно методическим рекомендациям. Все невыясненные вопросы теории можно (и нужно) задать преподавателю в начале семинарского занятия. На семинаре, как правило, разбираются вопросы и качественные задачи, дающие возможность более глубоко постичь изучаемый раздел курса. Кроме того, на семинаре учат правильно ставить и решать задачи, анализировать решение задач. По пройденной на семинаре теме даются задачи для самостоятельного (домашнего) решения. Усвоение курса во многом зависит от осмысленного выполнения домашнего задания, вдумчивого решения большого количества задач.

При решении задач целесообразно руководствоваться следующими правилами:

1. Прежде всего нужно хорошо вникнуть в условие задачи, записать кратко ее условие.
2. Следует прикинуть, какие основные законы и уравнения и в каких приближениях следует использовать и записать их, после чего попытаться решить.
3. Задача должна быть сначала решена в максимально общем виде.
4. Получив решение в общем виде, нужно проверить, правильную ли оно имеет размерность.
5. Если это возможно, исследовать поведение решения в предельных случаях и изобразить характер изучаемой зависимости графически.
6. Если возможно, при получении того или иного результата, следует указать границы его применимости.

Решение задачи принесет наибольшую пользу только в том случае, когда обучающийся решит ее самостоятельно. Решить задачу без помощи часто не всегда удается, но тем не менее попытки найти решение развивают мышление и укрепляют волю. Необходимо понимать, что для некоторых задач не удастся быстро найти решение, ведь решение задач относится к научной деятельности, которая предполагает творческий подход и длительное время обдумывания.

Из сказанного вытекает, что решение задач ни в коем случае не следует откладывать на последний вечер перед занятиями, как, к сожалению, нередко поступают студенты. В этом случае более сложные и притом наиболее содержательные и полезные задачи заведомо не могут быть решены.

В рекомендуемых сборниках задач, в разделе, который следует за ответами, содержатся указания к решению более трудных задач. Обращаться к ним нужно лишь после того, как несколько попыток решить задачу не приведут к успеху.

Методические рекомендации для подготовки к контрольным и проверочным работам

Контрольные работы проводятся для проверки качества усвоения материала и выполнения домашних заданий студентами. Они основываются строго на пройденном материале и не выходят за рамки излагаемого курса. Своевременное изучение лекционных материалов и выполнение домашних заданий гарантирует успешное выполнение контрольных и проверочных работ. При подготовке следует руководствоваться общепринятыми установками, т.е. повторить изученный материал, запомнить основные идеи, принципы и результаты курса. Не следует пытаться «вызубрить» материал, достаточно понять и запомнить логику вывода тех или иных результатов и решения задач и осознать их физический и математический смысл. При выполнении контрольной или проверочной работы необходимо записывать все основные шаги при решении задачи, не «перескакивая» к какому-то промежуточному или окончательному результату без каких-либо на то физических или математических обоснований.

Работа должна быть записана так, чтобы была понятна логика решения задач, при этом строгих правил оформления задач нет. Окончательный ответ необходимо выделить каким-либо способом так, чтобы проверяющему было понятно, что это и есть ответ к задаче.

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

Проведение практических занятий и выполнение самостоятельных работ

Студенты должны, используя полученный на лекциях материал, научиться решать задачи по курсу.

Следует использовать различные приемы вовлечения студентов в процесс освоения учебного материала:

- опрос студентов по содержанию прочитанных лекций;
- вызов студентов к доске для решения текущих задач;
- самостоятельное решение задачи со сверкой промежуточных и конечного результатов решения;
- показ преподавателем на доске решения типовых задач;
- самостоятельная работа над заданиями.

Организация контроля

Контроль знаний осуществляется путем проведения контрольных или самостоятельных работ с последующей проверкой.

На каждом семинаре выдается домашнее задание, которое обязательно проверяется в индивидуальном порядке. Также в курсе может быть выдано т.н. большое домашнее задание. Большие домашние задания (БДЗ) предназначены для самостоятельной работы студентов с последующей проверкой преподавателем. Как правило, сдача БДЗ проходит в виде устной защиты в середине или в конце учебного семестра, но форма и время проверки может быть изменена на усмотрение преподавателя.

На основании этих результатов выставляется внутрисеместровый зачет.

Проведение зачетов и экзаменов

Для допуска к зачету или экзамену необходимо иметь положительные оценки по каждой теме. Во время зачета студент получает индивидуальный билет и готовит ответы на вопросы по курсу.

Автор(ы):

Городничев Евгений Евгеньевич, д.ф.-м.н.,  
профессор

Рецензент(ы):

Урин Михаил Генрихович, д.ф-м.н. профессор

