

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Проректор по учебной работе и
довузовской подготовке**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Колебания и волны
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра общей физики
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составили:

В.Ф. Козлов, канд. физ.-мат. наук, доцент

Н.В. Сидоренко, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 06.03.2020

Аннотация

С позиций корпускулярно-волнового дуализма излагаются начальные сведения курса квантовой физики.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

В курсе продолжается знакомство студентов бакалавриата, начатое в курсах "Общая физика: механика; электричество и магнетизм", с характерными общими свойствами и отличительными особенностями колебательно-волновых процессов различной физической природы. Объектом изучения в данном курсе являются квантово-механические системы. Приведен необходимый объем сведений о физических экспериментах, лежащих в основании квантовой механики, о фундаментальных основах квантовой механики и ее математическом аппарате. Показаны роль и место квантово-механического подхода в описании окружающего мира. Основное внимание уделяется вопросам, как правило, излагаемым кратко, или не рассматриваемым в курсе "Общая физика: квантовая физика". Прослеживается непосредственная связь квантово-механического описания с классическими теориями колебательных и колебательно-волновых процессов.

Задачи дисциплины

знакомство студентов с экспериментами, лежащими в основе квантовой механики, и базовыми положениями квантовой механики;

формирование у студентов базовых знаний в области физики колебаний и волн с учетом квантово-механических закономерностей, действующих в микромире;

формирование у студентов представлений о границах применения классического подхода к описанию колебательных и колебательно-волновых процессов;

ознакомление студентов с основными способами математического описания и анализа конкретных колебательных и волновых процессов в квантовой механике;

формирование умений и навыков применять полученные знания для решения прикладных задач квантовой механики.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

фундаментальные понятия и законы современной квантовой механики;
численные порядки величин, характерные для квантовой механики;
современные проблемы физики и прикладной математики.

уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
 делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
 находить безразмерные параметры, определяющие изучаемое явление;
 производить численные оценки по порядку величины;
 делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
 видеть в технических задачах физическое содержание;

осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;

выводить основные соотношения квантовой механики и понимать их физический смысл;
 пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;
 культурой постановки и моделирования физических задач;
 практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Квантовая природа света	1	2		3
2	Волновые свойства частиц	1	2		3
3	Дифракция электронов и нейтронов	1	2		3
4	Соотношения неопределенностей	2	4		6
5	Спектр излучения атома водорода	1	2		3
6	Водородоподобные атомы	2	4		6
7	Уравнение Шредингера. Волновая функция	2	4		6
8	Операторы физических величин	2	4		6
9	Потенциальные ямы и барьеры	1	2		3
10	Момент импульса	2	4		6
Итого часов		15	30		45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 4 (Весенний)

1. Квантовая природа света

Завершение спора: свет - частицы или волны. Квантовая природа электромагнитного излучения. Излучение абсолютно черного тела, фотоэффект, эффект Комптона. Энергия и импульс фотона.

2. Волновые свойства частиц

Волновые свойства массивных частиц. Волны Де-Бройля. Опыты Дэвиссона-Джермера и Томсона по дифракции электронов на кристаллах. Дифракция нейтронов. Дифракция электронов на двух щелях. Современные опыты по дифракции атомов и молекул. Интерферометры на волнах Де-Бройля.

3. Дифракция электронов и нейтронов

Соотношения неопределенностей Гейзенберга: координата-импульс, энергия-время. Применение для оценки энергий основного состояния квантовых систем и границ применения классической механики.

4. Соотношения неопределенностей

Соотношения неопределенностей Гейзенберга: координата-импульс, энергия-время. Применение для оценки энергий основного состояния квантовых систем и границ применения классической механики.

5. Спектр излучения атома водорода

Модель атома Н. Бора. Спектр излучения атома водорода. Характерные значения физических величин: энергии, скорости, радиуса. Оценка энергии основного состояния из соотношения неопределенностей.

6. Водородоподобные атомы

Водородоподобные атомы. Характерные значения энергии, скорости, радиуса. Изотопический сдвиг. Закон Мозли для рентгеновских спектров.

7. Уравнение Шредингера. Волновая функция

Уравнение Шредингера (нестационарное и стационарное). Физический смысл волновой функции. Парадоксы волновой функции. «Кот Шредингера». Квантовая запутанность. Понятие о квантовых компьютерах.

8. Операторы физических величин

Операторы физических величин, их смысл и правила работы с ними. Средние значения физических величин. Способы нахождения допустимых значений физических величин. Вероятности значений физических величин в данном квантовом состоянии.

9. Потенциальные ямы и барьеры

Частица в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Уровни энергии и волновые функции.

Прохождение частиц через потенциальные барьеры. Туннельный эффект. Теория -распада.

Гармонический осциллятор. Волновая функция основного состояния. Нулевые колебания. Уровни энергии гармонического осциллятора. Волновые функции.

10. Момент импульса

Момент импульса. Собственные значения и собственные функции. Уровни энергии и собственные волновые функции плоского ротатора. Собственные значения квадрата момента импульса. Сферический ротатор, уровни энергии.

Уравнение Шредингера для атома водорода. Квантовые числа, их смысл. Обозначения состояний электрона в атоме. Волновая функция основного состояния.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

- Лекционная аудитория, оснащённая мультимедийным проектором и экраном
- Оборудование для лекционных демонстраций
- Учебные аудитории, оснащённые доской
- Доступ к библиотекам учебной технической литературы, в том числе электронным, необходимый для осуществления самостоятельной работы обучающихся

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Квантовая микро- и макрофизика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Ципенюк .— М. : Физматкнига, 2006 .— 640 с.
2. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 5 : Атомная и ядерная физика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 2-е изд., стереотип. — М : Физматлит : МФТИ, 2002, 2006,2008 .— 784 с.
3. Начальные главы квантовой механики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Н. В. Карлов, Н. А. Кириченко .— М : Физматлит, 2004,2006 .— 360 с.

Дополнительная литература

1. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. С. Горелик ; под ред. С. М. Рытова .— 3-е изд. — М. : Физматлит, 2007 .— 656 с.
2. Физическая оптика [Текст] : учебник для вузов / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин .— М : Изд-во МГУ, 2004 .— 656 с.
3. Методы решения задач в общем курсе физики. Оптика [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. П. Корявов .— М. : Студент, 2012 .— 344 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. http://mipt.ru/education/chair/physics/S_IV/Metod_4/— методический раздел сайта кафедры Общей физики
2. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1412/?t=750> – электронная библиотека МФТИ, раздел «Общая физика»

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

Литература, рекомендуемая к курсу, доступна в электронном виде (см. п.[1,2] перечня ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)), так что студенты могут читать учебники прямо со своих планшетов.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий курс «Колебания и волны: волновая механика частиц», должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания к решению соответствующих задач.

В результате изучения дисциплины студент должен знать фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики; порядки численных величин, характерные для различных разделов физики; современные проблемы физики и прикладной математики;

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;

- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра общей физики
курс:	<u>2</u>
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

В.Ф. Козлов, канд. физ.-мат. наук, доцент
Н.В. Сидоренко, канд. физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Колебания и волны» обучающийся должен:

знать:

фундаментальные понятия и законы современной квантовой механики;
численные порядки величин, характерные для квантовой механики;
современные проблемы физики и прикладной математики.

уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
находить безразмерные параметры, определяющие изучаемое явление;
производить численные оценки по порядку величины;
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
видеть в технических задачах физическое содержание;
осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
выводить основные соотношения квантовой механики и понимать их физический смысл;
пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;
культурой постановки и моделирования физических задач;
практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Промежуточная аттестация по дисциплине «Колебания и волны» осуществляется в форме дифференцированного зачета. Оценка определяется по итогам работы студента в семестре, решения им контрольных задач и устных ответов во время собеседования на контрольные вопросы, примеры которых представлены ниже.

Перечень контрольных вопросов:

1. Излучение абсолютно черного тела, фотоэффект, эффект Комптона. Энергия и импульс фотона.
2. Волновые свойства массивных частиц. Волны Де-Бройля. Опыты Дэвиссона-Джермера и Томсона по дифракции электронов на кристаллах.
3. Дифракция нейтронов. Дифракция электронов на двух щелях. Современные опыты по дифракции атомов и молекул. Интерферометры на волнах Де-Бройля.
4. Соотношения неопределенностей Гейзенберга: координата-импульс, энергия-время. Их применение для оценки энергий основного состояния квантовых систем и границ применения классической механики.
5. Модель атома Н. Бора. Спектр излучения атома водорода. Характерные значения физических величин: энергии, скорости, радиуса. Оценка энергии основного состояния из соотношения неопределенностей.
6. Водородоподобные атомы. Характерные значения энергии, скорости, радиуса. Изотопический сдвиг. Закон Мозли для рентгеновских спектров.
7. Уравнение Шредингера. Физический смысл волновой функции.
8. Операторы физических величин, их смысл и правила работы с ними. Средние значения физических величин. Способы нахождения допустимых значений физических величин. Вероятности значений физических величин в данном квантовом состоянии.
9. Частица в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Уровни энергии и волновые функции.
10. Прохождение частиц через потенциальные барьеры. Туннельный эффект.
11. Теория α -распада.
12. Гармонический осциллятор. Волновые функции и уровни энергии гармонического осциллятора. Нулевые колебания.
13. Момент импульса. Собственные значения и собственные функции.
14. Уровни энергии и собственные волновые функции плоского ротатора. Собственные значения квадрата момента импульса.
15. Сферический ротатор, волновые функции и уровни энергии.
16. Уравнение Шредингера для атома водорода. Квантовые числа, их смысл.
17. Волновая функция основного состояния атома водорода. Обозначения состояний электрона в атоме.

Примеры контрольных задач:

1. Через какой промежуток времени Δt электрон, вращающийся вокруг протона по окружности радиуса 0,053 нм, упал бы на ядро вследствие потерь на излучение, если бы была справедлива классическая теория? Считать, что, несмотря на падение электрона на ядро, его движение в каждый момент приближенно соответствует равномерному движению по окружности соответствующего радиуса.

2. Первый потенциал ионизации атома гелия равен 24.5 эВ. Определить три ионизационных потенциала мезоатома лития, в котором один электрон замещен на мюон.

3. Волновая функция основного состояния дейтрона (система протон - нейтрон) в системе центра инерции имеет вид $\psi(r) = \text{const} \exp(-kr)/r$, где r – относительное расстояние между протоном и нейтроном, $k = 2,3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-1}$. Вычислить среднее расстояние между протоном и нейтроном и минимальную энергию γ -кванта, способного расщепить ядро на составные части.

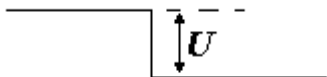
4. Найти энергию связанного состояния электрона в потенциальной яме,

$$U(x) = -2\varepsilon_{at} a_o \delta(x)$$

где ε_{at} и a_o – соответственно атомная единица энергии и боровский радиус.

5. Частица массы m находится в одномерной потенциальной яме шириной a с непроницаемыми стенками ($0 < x < a$). Состояние частицы в начальный момент описывается волновой функцией $\psi = Ax(a-x)$. Найти вероятность пребывания частицы на 1, 2, 3 энергетических уровнях. Определить среднее значение энергии частицы в данном состоянии.

6. На ступеньку глубиной $U = 10$ эВ слева падает поток электронов энергией $E = 100$ эВ. и концентрацией $n = 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Определить коэффициент отражения и давление, испытываемое ступенькой.



7. Найти энергию электрона, при которой он беспрепятственно пройдет над прямоугольным потенциальным барьером высотой $U_0 = 10$ эВ и шириной $d = 5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$.

4. Критерии оценивания

Оценивание знаний и владения студентом вопросами программы дисциплины «Колебания и волны: волновая механика частиц» во время собеседования производится в основном согласно критериям, применяемым в МФТИ на семестровых экзаменах по общей физике. При этом, однако, преподавателю, принимающему зачет, необходимо дополнительно учитывать:

- а) посещение студентом лекций и семинарских занятий по курсу «Колебания и волны: волновая механика частиц» и
- б) умение студента применять приобретенные знания к решению контрольных задач.

Итоговая оценка выставляется в соответствии с перечисленными ниже критериями:

Оценка «**отлично (10)**» выставляется студенту, регулярно посещавшему лекции и семинары, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и смежных с ней вопросов, а также умение уверенно применять приобретенные знания при решении сложных нестандартных задач.

Оценка «**отлично (9)**» выставляется студенту, регулярно посещавшему лекции и семинары, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной

программы, а также умение уверенно применять приобретенные знания при решении сложных задач по программе курса.

Оценка **«отлично (8)»** выставляется студенту, регулярно посещавшему лекции и семинары, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы, а также умение уверенно применять приобретенные знания при решении сложных задач по программе курса. При этом, однако, студент при ответах на вопросы из программы курса и при решении задач допускает некоторые неточности не принципиального характера.

Оценка **«хорошо (7)»** выставляется студенту, посетившему не менее 75% лекций и семинаров, продемонстрировавшему твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы, умение свободно применять физические законы на практике при решении, как типовых задач, так и задач, предполагающих использование сведений из смежных разделов физики.

Оценка **«хорошо (6)»** выставляется студенту, посетившему не менее 75% лекций и семинаров, продемонстрировавшему твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы, умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых (стандартных) задач.

Оценка **«хорошо (5)»** выставляется студенту, посетившему не менее 75% лекций и семинаров, продемонстрировавшему твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы, умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых (стандартных) задач, однако допустившему при ответах на вопросы преподавателя ряд грубых неточностей.

Оценка **«удовлетворительно (4)»** выставляется студенту, посетившему не менее 50% лекций и семинаров, продемонстрировавшему фрагментарный характер знаний вопросов программы, допустившему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка **«удовлетворительно (3)»** выставляется студенту, посетившему не менее 50% лекций и семинаров, продемонстрировавшему фрагментарный характер знаний вопросов программы, допустившему грубые ошибки в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка **«неудовлетворительно (2)»** или **«неудовлетворительно (1)»** выставляется студенту, посетившему не более 25% лекций и семинаров, продемонстрировавшему, что он не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускающему грубые ошибки при формулировании основных физических законов и/или не умеющему применять физические законы для решения простейших задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Опрос обучающегося на зачете не должен превышать двух астрономических часов. Во время проведения зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины и справочной литературой.