

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»
Институт математики, физики и информационных технологий
Кафедра теоретической и экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института



Н. Л. Королева
«21» июня 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине Б1.О.30 Квантовая теория

Направление подготовки/специальность: 03.03.02 - Физика

Профиль/направленность/специализация: Фундаментальная физика

Уровень высшего образования: бакалавриат

Квалификация: Бакалавр

год набора: 2023

Тамбов, 2023

Автор программы:

Доктор физико-математических наук, профессор Шибков Александр Анатольевич

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 - Физика (уровень бакалавриата) (приказ Министерства науки и высшего образования РФ от «07» августа 2020 г. № 891).

Рабочая программа принята на заседании Кафедры теоретической и экспериментальной физики «16» июня 2023 г. Протокол № 8

Рассмотрена и одобрена на заседании Ученого совета Института математики, физики и информационных технологий, Протокол от «21» июня 2023 г. № 3.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи дисциплины.....	4
2. Место дисциплины в структуре ОП Бакалавриата.....	5
3. Объем и содержание дисциплины.....	5
4. Контроль знаний обучающихся и типовые оценочные средства.....	7
5. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля).....	19
6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	21
7. Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы.....	21

1. Цели и задачи дисциплины

1.1 Цель дисциплины – формирование компетенций:

ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности

1.2 Типы задач профессиональной деятельности, к которым готовятся обучающиеся в рамках освоения дисциплины:

- научно-исследовательский
- педагогический

1.3 Дисциплина ориентирована на подготовку обучающихся к профессиональной деятельности в сферах: 01 Образование и наука (в сферах: реализации образовательных программ среднего общего образования, среднего профессионального образования, высшего образования и дополнительных профессиональных программ; научных исследований и научно-конструкторских разработок), 40 Сквозные виды деятельности в промышленности (в сферах: фундаментальных основ физики живых систем и физико-химической биологии, применения диагностического и лечебного оборудования, участия в инновационных и опытно-конструкторских разработках; эксплуатации электронных приборов и систем различного назначения; мониторинга параметров материалов; мониторинга состояния окружающей среды)

1.4 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Обобщенные трудовые функции / трудовые функции / трудовые или профессиональные действия (при наличии профстандарта)	Код и наименование компетенции ФГОС ВО, необходимой для формирования трудового или профессионального действия	Индикаторы достижения компетенций
	ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	Использует базовые теоретические знания фундаментальных разделов теоретической физики (квантовая теория) для решения профессиональных задач

1.5 Согласование междисциплинарных связей дисциплин, обеспечивающих освоение компетенций:

ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности

№ п/п	Наименование дисциплин, определяющих междисциплинарные связи	Форма обучения					
		Очная (семестр)					
		1	2	3	4	5	6
1	Механика	+					
2	Молекулярная физика		+				
3	Оптика				+		
4	Статистическая физика					+	
5	Термодинамика			+			

6	Физика атомного ядра, элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий						+
7	Физика атомов и атомных явлений					+	
8	Электричество и магнетизм			+			
9	Электродинамика				+		

2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата:

Дисциплина «Квантовая теория» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, учебного плана ОП по направлению подготовки 03.03.02 - Физика.

Дисциплина «Квантовая теория» изучается в 5, 6 семестрах.

3. Объем и содержание дисциплины

3.1. Объем дисциплины: 6 з.е.

Очная: 6 з.е.

Вид учебной работы	Очная (всего часов)
Общая трудоёмкость дисциплины	216
Контактная работа	156
Лекции (Лекции)	56
Практические (Практ. раб.)	100
Самостоятельная работа (СР)	24
Экзамен	36
Зачет	-

3.2. Содержание курса:

№ темы	Название раздела/темы	Вид учебной работы, час.			Формы текущего контроля
		Лек ции	Пра кт. раб.	СР	
		О	О	О	
5 семестр					
1	Предпосылки создания квантовой физики	8	16	2	Собеседование
2	Математическая структура квантовой механики	8	16	4	Собеседование
3	Частица в поле потенциальных сил. Одномерное движение	8	16	4	Собеседование
4	Движение частицы в центральном поле	8	16	2	Собеседование; Тестирование

6 семестр					
5	Атом водорода	8	12	4	Собеседование
6	Многоэлектронные атомы	8	12	4	Собеседование
7	Магнитный и механический моменты атома	8	12	4	Собеседование; Тестирование

Тема 1. Предпосылки создания квантовой физики (ОПК-1)

Лекция.

Философские предпосылки. Проблемы классической физики. Классические модели атома. Фотоэффект. Законы излучения абсолютно черного тела. Гипотеза Планка. Фотоны. Волновые свойства частиц. Соотношения де Бройля. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Копенгагенская школа физики.

Практическое занятие.

Опрос с обсуждением изучаемого материала.

Задания для самостоятельной работы.

Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы.

Тема 2. Математическая структура квантовой механики (ОПК-1)

Лекция.

Постулаты квантовой механики. Принцип суперпозиции состояний. Уравнение Шрёдингера, его стационарные решения. Уравнение непрерывности в квантовой механике. Уравнение движения в форме Гейзенберга. Интегралы движения. Закон сохранения энергии. Закон сохранения импульса. Закон сохранения углового момента. Теоремы Эренфеста. Канонически сопряженные физические величины. Принцип тождественности одинаковых частиц. Перестановочная симметрия. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Обменное взаимодействие в системе двух фермионов.

Практическое занятие.

Опрос с обсуждением изучаемого материала.

Задания для самостоятельной работы.

Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы.

Тема 3. Частица в поле потенциальных сил. Одномерное движение (ОПК-1)

Лекция.

Движение частицы в прямоугольной яме. Бесконечно глубокая потенциальная яма. Частица в яме конечной глубины. Прохождение частиц через потенциальные барьеры. Туннельный эффект. Прохождение частиц через прямоугольный барьер. Потенциальный барьер произвольной формы. Холодная эмиссия. Гармонический осциллятор. Классический гармонический осциллятор. Квантовый гармонический осциллятор. Фононы.

Практическое занятие.

Опрос с обсуждением изучаемого материала.

Задания для самостоятельной работы.

Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы.

Тема 4. Движение частицы в центральном поле (ОПК-1)

Лекция.

Собственные функции и собственные значения оператора квадрата углового момента и его проекции. Пространственное квантование углового момента. Закон сохранения углового момента. Радиальное уравнение Шредингера. Физический смысл угловой и радиальной составляющей состояния частицы в центральном поле.

Практическое занятие.

Опрос с обсуждением изучаемого материала.

Задания для самостоятельной работы.

Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы.

Тема 5. Атом водорода (ОПК-1)

Лекция.

Атом водорода. Спектр энергии и волновые функции электрона. Основное состояние атома водорода. Учет конечности массы ядра. Изотопический сдвиг. Спектральные серии. Водородоподобные системы. Молекулярный ион водорода.

Практическое занятие.

Опрос с обсуждением изучаемого материала.

Задания для самостоятельной работы.

Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы.

Тема 6. Многоэлектронные атомы (ОПК-1)

Лекция.

Электронные слои и оболочки. Эффект экранирования. Орбитальный, спиновый и полный угловые моменты электрона. Правила Хунда. Термы атомов. Типы связей в атомах. Мультиплетное расщепление термов.

Практическое занятие.

Опрос с обсуждением изучаемого материала.

Задания для самостоятельной работы.

Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы.

Тема 7. Магнитный и механический моменты атома (ОПК-1)

Лекция.

Токи в атомах. Магнитный момент атома. Магнетон Бора. Связь магнитного и механического моментов. Гиромагнитное отношение. Опыты Штерна и Герлаха по пространственному квантованию атомных пучков. Спин электрона. Магнитомеханические эффекты.

Практическое занятие.

Опрос с обсуждением изучаемого материала.

Задания для самостоятельной работы.

Проработка конспектов лекций и вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы.

4. Контроль знаний обучающихся и типовые оценочные средства

4.1. Распределение баллов:

5 семестр

- текущий контроль – 60 баллов
- контрольные срезы – 1 срез по 20 баллов каждый

Распределение баллов по заданиям:

№ те мы	Название темы / вид учебной работы	Формы текущего контроля / срезы	Мах. кол-во баллов	Методика проведения занятия и оценки
1.	Предпосылки создания квантовой физики	Собеседование	15	<p>15 баллов – студент умеет сопоставить полученную при подготовке к практическому занятию информацию, сравнивать разные точки зрения на анализируемую проблему, уметь четко формулировать свои вопросы и отвечать на задаваемые ему вопросы, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики</p> <p>10 баллов - студент умеет применять полученную при подготовке к практическому занятию информацию, отвечать на большинство вопросов, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики.</p> <p>5 баллов – студент владеет теоретическим материалом по теме практического занятия, иногда затрудняется при ответе на вопросы, не умеет сформулировать свою точку зрения на обсуждаемую проблему</p> <p>Если студент не владеет проблематикой практического занятия, не может отвечать на вопросы, зачитывает ответ по напечатанному тексту – ответ баллами не оценивается.</p>
2.	Математическая структура квантовой механики	Собеседование	15	<p>15 баллов – студент умеет сопоставить полученную при подготовке к практическому занятию информацию, сравнивать разные точки зрения на анализируемую проблему, уметь четко формулировать свои вопросы и отвечать на задаваемые ему вопросы, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики</p> <p>10 баллов - студент умеет применять полученную при подготовке к практическому занятию информацию, отвечать на большинство вопросов, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики.</p> <p>5 баллов – студент владеет теоретическим материалом по теме практического занятия, иногда затрудняется при ответе на вопросы, не умеет сформулировать свою точку зрения на обсуждаемую проблему</p> <p>Если студент не владеет проблематикой практического занятия, не может отвечать на вопросы, зачитывает ответ по напечатанному тексту – ответ баллами не оценивается.</p>
3.	Частица в поле потенциальных сил. Одномерное движение	Собеседование	15	<p>15 баллов – студент умеет сопоставить полученную при подготовке к практическому занятию информацию, сравнивать разные точки зрения на анализируемую проблему, уметь четко формулировать свои вопросы и отвечать на задаваемые ему вопросы, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики</p> <p>10 баллов - студент умеет применять полученную при подготовке к практическому занятию информацию, отвечать на большинство вопросов, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики.</p> <p>5 баллов – студент владеет теоретическим материалом по теме практического занятия, иногда затрудняется при ответе на вопросы, не умеет сформулировать свою точку зрения на обсуждаемую проблему</p> <p>Если студент не владеет проблематикой практического занятия, не может отвечать на вопросы, зачитывает ответ по напечатанному тексту – ответ баллами не оценивается.</p>

4.	Движение частицы в центральном поле	Собеседование	15	<p>15 баллов – студент умеет сопоставить полученную при подготовке к практическому занятию информацию, сравнивать разные точки зрения на анализируемую проблему, уметь четко формулировать свои вопросы и отвечать на задаваемые ему вопросы, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики</p> <p>10 баллов - студент умеет применять полученную при подготовке к практическому занятию информацию, отвечать на большинство вопросов, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики.</p> <p>5 баллов – студент владеет теоретическим материалом по теме практического занятия, иногда затрудняется при ответе на вопросы, не умеет сформулировать свою точку зрения на обсуждаемую проблему</p> <p>Если студент не владеет проблематикой практического занятия, не может отвечать на вопросы, зачитывает ответ по напечатанному тексту – ответ баллами не оценивается.</p>
		Тестирование(контрольный срез)	20	Контрольный срез проводится в виде теста из 20 вопросов. За верный ответ на каждый вопрос студент получает 1 балл
5.	Итого за семестр		80	

6 семестр

- посещаемость – 20 баллов
- текущий контроль – 20 баллов
- контрольные срезы – 2 среза: 10 баллов, 20 баллов
- премиальные баллы – 20 баллов

Распределение баллов по заданиям:

№ темы	Название темы / вид учебной работы	Формы текущего контроля / срезы	Мах. кол-во баллов	Методика проведения занятия и оценки
1.	Атом водорода	Собеседование(контрольный срез)	10	<p>10 баллов – студент умеет сопоставить полученную при подготовке к практическому занятию информацию, сравнивать разные точки зрения на анализируемую проблему, уметь четко формулировать свои вопросы и отвечать на задаваемые ему вопросы, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики</p> <p>7 баллов - студент умеет применять полученную при подготовке к практическому занятию информацию, отвечать на большинство вопросов, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики.</p> <p>4 балла – студент владеет теоретическим материалом по теме практического занятия, иногда затрудняется при ответе на вопросы, не умеет сформулировать свою точку зрения на обсуждаемую проблему</p> <p>Если студент не владеет проблематикой практического занятия, не может отвечать на вопросы, зачитывает ответ по напечатанному тексту – ответ баллами не оценивается.</p>

2.	Многоэлектронные атомы	Собеседование	10	<p>10 баллов – студент умеет сопоставить полученную при подготовке к практическому занятию информацию, сравнивать разные точки зрения на анализируемую проблему, уметь четко формулировать свои вопросы и отвечать на задаваемые ему вопросы, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики</p> <p>7 баллов - студент умеет применять полученную при подготовке к практическому занятию информацию, отвечать на большинство вопросов, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики.</p> <p>4 балла – студент владеет теоретическим материалом по теме практического занятия, иногда затрудняется при ответе на вопросы, не умеет сформулировать свою точку зрения на обсуждаемую проблему</p> <p>Если студент не владеет проблематикой практического занятия, не может отвечать на вопросы, зачитывает ответ по напечатанному тексту – ответ баллами не оценивается.</p>
3.	Магнитный и механический моменты атома	Собеседование	10	<p>10 баллов – студент умеет сопоставить полученную при подготовке к практическому занятию информацию, сравнивать разные точки зрения на анализируемую проблему, уметь четко формулировать свои вопросы и отвечать на задаваемые ему вопросы, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики</p> <p>7 баллов - студент умеет применять полученную при подготовке к практическому занятию информацию, отвечать на большинство вопросов, вести дискуссию с использованием терминологии современной физики.</p> <p>4 балла – студент владеет теоретическим материалом по теме практического занятия, иногда затрудняется при ответе на вопросы, не умеет сформулировать свою точку зрения на обсуждаемую проблему</p> <p>Если студент не владеет проблематикой практического занятия, не может отвечать на вопросы, зачитывает ответ по напечатанному тексту – ответ баллами не оценивается.</p>
		Тестирование(контрольный срез)	20	Контрольный срез проводится в виде теста из 20 вопросов. За верный ответ на каждый вопрос студент получает 1 балл
4.	Посещаемость		20	<p>20 баллов – студент посетил все 100% занятий</p> <p>15 баллов – студент посетил не менее 80% занятий</p> <p>10 баллов – студент посетил не менее 50% занятий</p> <p>5 баллов – студент посетил не менее 25% занятий</p> <p>Если студент посетил менее 25% занятий, баллы не начисляются</p>
5.	Премияльные баллы		20	<p>Дополнительные премияльные баллы могут быть начислены:</p> <ul style="list-style-type: none"> - постоянная активность во время практических занятий – 5 баллов; - участие в проектах – 5 баллов; - участие в конференциях – 10 баллов.
6.	Индивидуальные задания, с помощью которых можно набрать дополнительные баллы		20	Добор: студент может предоставить все задания текущего контроля и контрольные срезы
7.	Итого за семестр		70	

Итоговая оценка по экзамену выставляется в 100-балльной шкале и в традиционной четырехбалльной шкале. Перевод 100-балльной рейтинговой оценки по дисциплине в традиционную четырехбалльную осуществляется следующим образом:

100-балльная система	Традиционная система
85 - 100 баллов	Отлично
70 - 84 баллов	Хорошо
50 - 69 баллов	Удовлетворительно
Менее 50	Неудовлетворительно

4.2 Типовые оценочные средства текущего контроля

Собеседование

Тема 1. Предпосылки создания квантовой физики

1. Принцип суперпозиции в квантовой механике и ее физический смысл.
2. Доказать, что электрон не может находиться в атомном ядре. Принять размер ядра 10^{-14} м.
3. Вычислить неопределенность координаты в основном состоянии частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a .
4. Вывести закон сохранения углового момента из свойств однородности и изохронности пространства.
5. Чему равна вероятность нахождения электрона вне классических границ его движения для линейного осциллятора в первом возбужденном состоянии?

Тема 2. Математическая структура квантовой механики

1. Принцип суперпозиции в квантовой механике и ее физический смысл.
2. Доказать, что электрон не может находиться в атомном ядре. Принять размер ядра 10^{-14} м.
3. Вычислить неопределенность координаты в основном состоянии частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a .
4. Вывести закон сохранения углового момента из свойств однородности и изохронности пространства.
5. Чему равна вероятность нахождения электрона вне классических границ его движения для линейного осциллятора в первом возбужденном состоянии?

Тема 3. Частица в поле потенциальных сил. Одномерное движение

1. Принцип суперпозиции в квантовой механике и ее физический смысл.
2. Доказать, что электрон не может находиться в атомном ядре. Принять размер ядра 10^{-14} м.
3. Вычислить неопределенность координаты в основном состоянии частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a .
4. Вывести закон сохранения углового момента из свойств однородности и изохронности пространства.
5. Чему равна вероятность нахождения электрона вне классических границ его движения для линейного осциллятора в первом возбужденном состоянии?

Тема 4. Движение частицы в центральном поле

1. Принцип суперпозиции в квантовой механике и ее физический смысл.
2. Доказать, что электрон не может находиться в атомном ядре. Принять размер ядра 10^{-14} м.
3. Вычислить неопределенность координаты в основном состоянии частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a .
4. Вывести закон сохранения углового момента из свойств однородности и изохронности пространства.
5. Чему равна вероятность нахождения электрона вне классических границ его движения для линейного осциллятора в первом возбужденном состоянии?

Тема 5. Атом водорода

1. Принцип суперпозиции в квантовой механике и ее физический смысл.
2. Доказать, что электрон не может находиться в атомном ядре. Принять размер ядра 10^{-14} м.
3. Вычислить неопределенность координаты в основном состоянии частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a .
4. Вывести закон сохранения углового момента из свойств однородности и изохронности пространства.
5. Чему равна вероятность нахождения электрона вне классических границ его движения для линейного осциллятора в первом возбужденном состоянии?

Тема 6. Многоэлектронные атомы

1. Принцип суперпозиции в квантовой механике и ее физический смысл.
2. Доказать, что электрон не может находиться в атомном ядре. Принять размер ядра 10^{-14} м.
3. Вычислить неопределенность координаты в основном состоянии частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a .
4. Вывести закон сохранения углового момента из свойств однородности и изохронности пространства.
5. Чему равна вероятность нахождения электрона вне классических границ его движения для линейного осциллятора в первом возбужденном состоянии?

Тема 7. Магнитный и механический моменты атома

1. Принцип суперпозиции в квантовой механике и ее физический смысл.
2. Доказать, что электрон не может находиться в атомном ядре. Принять размер ядра 10^{-14} м.
3. Вычислить неопределенность координаты в основном состоянии частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a .
4. Вывести закон сохранения углового момента из свойств однородности и изохронности пространства.
5. Чему равна вероятность нахождения электрона вне классических границ его движения для линейного осциллятора в первом возбужденном состоянии?

Тестирование

Тема 4. Движение частицы в центральном поле

1. Вычислить длину головной линии серии Лаймана атома водорода.
 - a. 1215.68 А
 - b. 1311.07 А
 - c. 6562.72 А
 - d. 3210.83 А
2. Сколько узлов волновой функции электрона в атоме водорода в состоянии $4p$?
 - a. 2
 - b. 3
 - c. 4

d. 0

3. Вычислить вероятное положение электрона относительно ядра в атоме водорода в состоянии 4f?

a. 8,464 Å

b. 4.761 Å

c. 2.116 Å

d. 1.06 Å

4. Вычислить потенциал ионизации атома позитрония

a. 24,3 эВ

b. 6,8 эВ

c. 17,0 эВ

d. 13,6 эВ

Тема 7. Магнитный и механический моменты атома

1. Вычислить длину головной линии серии Лаймана атома водорода.

a. 1215.68 Å

b. 1311.07 Å

c. 6562.72 Å

d. 3210.83 Å

2. Сколько узлов волновой функции электрона в атоме водорода в состоянии 4p?

a. 2

b. 3

c. 4

d. 0

3. Вычислить вероятное положение электрона относительно ядра в атоме водорода в состоянии 4f?

a. 8,464 Å

b. 4.761 Å

- c. 2.116 А
 - d. 1.06 А
4. Вычислить потенциал ионизации атома позитрония
- a. 24,3 эВ
 - b. 6,8 эВ
 - c. 17,0 эВ
 - d. 13,6 эВ

4.3 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета, экзамена

Типовые вопросы зачета (ОПК-1)

Вопросы по дисциплине «Квантовая теория» для зачета

1. Физические предпосылки возникновения квантовой механики.
2. Постулаты квантовой механики.
3. Соотношения неопределенностей Гейзенберга.
4. Ортонормированность собственных функций эрмитовых операторов.
5. Разложение по базису. Принцип суперпозиции. Физический смысл коэффициентов разложения.
6. Основные свойства волновых функций и операторов в квантовой механике.
7. Условия одновременной измеримости физических величин. Прямая и обратная теоремы.
8. Канонически сопряженные физические величины. Соотношение неопределенностей для канонически сопряженных величин.
9. Уравнение непрерывности в квантовой механике.
10. Уравнения движения в форме Гейзенберга. Интегралы движения.
11. Теоремы Эренфеста.
12. Частица в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме. Спектр энергий. Волновые функции. Физический смысл квантового числа.
13. Частица в прямоугольной яме конечной глубины.
14. Прохождение частицы через потенциальный барьер прямоугольной формы. Коэффициент прозрачности барьера.
15. Прохождение частицы через потенциальный барьер произвольной формы.
16. Туннельный эффект в природе.
17. Одномерный квантовый гармонический осциллятор. Нулевая энергия. Фононы.
18. Частица в центрально-симметричном потенциальном поле.
19. Атом водорода. Волновые функции.
20. Атом водорода. Спектр энергий. Спектральные серии.
21. Принцип тождественности одинаковых частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Бозоны и фермионы.
22. Теория возмущений в случае N-кратного вырождения.
23. Теория возмущений в случае 2-кратного вырождения.
24. Токи в атомах.
25. Магнитный момент атома. Магнетон Бора.
26. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона.

27. Электронная структура многоэлектронного атома. Слои и оболочки.
28. Эффект экранирования. Правило Клечковского.
29. Правило Хунда. Основная валентность атомов.

Типовые задания для зачета (ОПК-1)

Задания для зачета

1. Сформулируйте постулаты квантовой механики и поясните их физический смысл?
2. Почему собственные функции эрмитового оператора могут служить базисом пространства Гильберта?
3. Какое свойство собственных функций эрмитового оператора обеспечивает разложение любой волновой функции по базису?
4. Как перейти от координатного представления волновой функции к F-представлению?
5. Поясните физический смысл коэффициентов разложения волновой функции по F- базису?
6. Принцип суперпозиции в квантовой механике и его физический смысл.
7. Физический смысл волновой функции. Кто впервые дал объяснение -функции?
8. На каком основании волновую функцию можно рассматривать как вектор состояния в пространстве Гильберта? Кто впервые ввел такое представление?
9. Перечислите лауреатов Нобелевской премии, внесших существенный вклад в создание и развитие квантовой физики.
10. Условия полноты собственных функций операторов в квантовой механике.
11. Перечислите основные свойства волновых функций и операторов в квантовой механике.
12. Вывести условия, при которых две физических величины в квантовой механике имеют одновременно определенные значения.
13. Доказать, что если два оператора коммутируют, то они имеют одну систему собственных функций.
14. Почему в квантовой механике отсутствует понятие траектории и частицы?
15. Соотношение неопределенности Гейзенберга и его физический смысл.
16. При каких условиях две физические величины являются канонически сопряженными?
17. Вывести соотношение для физических величин, операторы которых не коммутируют.
18. Вывести явный вид собственных функций оператора импульса, нормированных на ящик (трехмерный случай).
19. Решить уравнение Шрёдингера для свободно движущейся частицы. Какие величины имеют определенное значение в этом состоянии?
20. Доказать эрмитовость оператора импульса.
21. Доказать эрмитовость оператора Гамильтона.
22. При каких условиях физическая величина в квантовой механике является интегралом движения?
23. Какое уравнение в квантовой механике позволяет анализировать интегралы движения?
24. Перечислите важнейшие законы сохранения и поясните их связь со свойствами симметрии пространства и времени.
25. Вывести закон сохранения энергии из свойства однородности времени.
26. Вывести закон сохранения импульса из свойства однородности пространства.
27. Вывести закон сохранения углового момента из свойства однородности и изотропности пространства.
28. Вывести уравнение, описывающее стационарное состояние квантовой системы?
29. Докажите, что стационарные состояния ортонормированны.
30. Вывести соотношения между средними значениями импульса и координаты частицы в состоянии \square .
31. Вывести соотношение между средним значением силы и средним значением потенциальной энергии.

32. Исходя из соотношения неопределенностей оценить энергию основного состояния электрона в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной 0.2 нм.
33. Решить уравнение Шрёдингера для частицы, движущейся в однородном потенциальном поле $U=\text{const}$.
34. Проверить соотношение неопределенности для частицы в основном состоянии в бесконечно глубокой потенциальной яме.
35. Для линейного гармонического осциллятора, находящегося в основном состоянии вычислить $\langle x^2 \rangle$ и среднюю потенциальную энергию.
36. Для линейного гармонического осциллятора, энергия которого , вычислить среднюю кинетическую энергию.
37. Почему любую физическую систему вблизи положения равновесия можно моделировать гармоническим осциллятором?
38. Дайте определение гармонического и ангармонического приближения.
Вычислить коэффициент прозрачности D барьера прямоугольной формы при $U=20$ эВ и $a=0.1$ нм для электрона и протона с энергией 10 эВ.
Для частицы массой m и энергией $E < U_0$ найти коэффициент прозрачности барьера, заданного на потенциальной кривой: $U(x) = U_0(1 - x^2/a^2)$.
39. Какая доля электронов с энергией 1 эВ пройдет через потенциальный барьер высотой 8 эВ и толщиной 0.5 и 0.3 нм?
40. Поток электронов с энергией 1 эВ движется к потенциальному прямоугольному барьеру высотой 10 эВ бесконечной ширины. На каком расстоянии от поверхности барьера плотность тока электронов уменьшится в e раз?
41. Чему равна вероятность нахождения электрона вне классических границ его движения для линейного осциллятора в первом возбужденном состоянии?
42. Приведите 10 примеров проявления туннельного эффекта в природе и технике.
43. Найти собственные функции и собственные значения оператора \hat{L}_z , $\hat{L}_z = -i\hbar \frac{\partial}{\partial \phi}$ азимутальный угол (учесть, что $\phi(\phi) = \phi(\phi + 2\pi)$).
44. Найти собственные функции и собственные значения оператора \hat{L}_x , если $\hat{L}_x(x) = \hat{L}_x(x + a)$, где $a = \text{const}$.
45. В одномерной прямоугольной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a находится частица в состоянии $\psi(x) = A \sin^2(\pi x/a)$. Определить вероятность пребывания частицы в основном состоянии и среднее значение кинетической энергии.
46. Определить среднее значение механической величины, описываемой оператором \hat{L}_x в состоянии $\psi(\phi) = A \sin^2 \phi$, где ϕ азимутальный угол ($2\pi \leq \phi \leq 4\pi$).

Типовые вопросы экзамена (ОПК-1)

Вопросы по дисциплине «Квантовая теория» для экзамена

1. Физические предпосылки возникновения квантовой механики.
2. Постулаты квантовой механики.
3. Соотношения неопределенностей Гейзенберга.
4. Ортонормированность собственных функций эрмитовых операторов.
5. Разложение по базису. Принцип суперпозиции. Физический смысл коэффициентов разложения.
6. Основные свойства волновых функций и операторов в квантовой механике.
7. Условия одновременной измеримости физических величин. Прямая и обратная теоремы.
8. Канонически сопряженные физические величины. Соотношение неопределенностей для канонически сопряженных величин.
9. Уравнение непрерывности в квантовой механике.
10. Уравнения движения в форме Гейзенберга. Интегралы движения.
11. Теоремы Эренфеста.
12. Частица в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме. Спектр энергий. Волновые функции. Физический смысл квантового числа.
13. Частица в прямоугольной яме конечной глубины.

14. Прохождение частицы через потенциальный барьер прямоугольной формы. Коэффициент прозрачности барьера.
15. Прохождение частицы через потенциальный барьер произвольной формы.
16. Туннельный эффект в природе.
17. Одномерный квантовый гармонический осциллятор. Нулевая энергия. Фононы.
18. Частица в центрально-симметричном потенциальном поле.
19. Атом водорода. Волновые функции.
20. Атом водорода. Спектр энергий. Спектральные серии.
21. Принцип тождественности одинаковых частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Бозоны и фермионы.
22. Теория возмущений в случае N-кратного вырождения.
23. Теория возмущений в случае 2-кратного вырождения.
24. Токи в атомах.
25. Магнитный момент атома. Магнетон Бора.
26. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона.
27. Электронная структура многоэлектронного атома. Слои и оболочки.
28. Эффект экранирования. Правило Клечковского.
29. Правило Хунда. Основная валентность атомов.

Типовые задания для экзамена (ОПК-1)

Задания для экзамена

1. Сформулируйте постулаты квантовой механики и поясните их физический смысл?
2. Почему собственные функции эрмитового оператора могут служить базисом пространства Гильберта?
3. Какое свойство собственных функций эрмитового оператора обеспечивает разложение любой волновой функции по базису?
4. Как перейти от координатного представления волновой функции к F-представлению?
5. Поясните физический смысл коэффициентов разложения волновой функции по F- базису?
6. Принцип суперпозиции в квантовой механике и его физический смысл.
7. Физический смысл волновой функции. Кто впервые дал объяснение -функции?
8. На каком основании волновую функцию можно рассматривать как вектор состояния в пространстве Гильберта? Кто впервые ввел такое представление?
9. Перечислите лауреатов Нобелевской премии, внесших существенный вклад в создание и развитие квантовой физики.
10. Условия полноты собственных функций операторов в квантовой механике.
11. Перечислите основные свойства волновых функций и операторов в квантовой механике.
12. Вывести условия, при которых две физических величины в квантовой механике имеют одновременно определенные значения.
13. Доказать, что если два оператора коммутируют, то они имеют одну систему собственных функций.
14. Почему в квантовой механике отсутствует понятие траектории и частицы?
15. Соотношение неопределенности Гейзенберга и его физический смысл.
16. При каких условиях две физические величины являются канонически сопряженными?
17. Вывести соотношение для физических величин, операторы которых не коммутируют.
18. Вывести явный вид собственных функций оператора импульса, нормированных на ящик (трехмерный случай).
19. Решить уравнение Шрёдингера для свободно движущейся частицы. Какие величины имеют определенное значение в этом состоянии?
20. Доказать эрмитовость оператора импульса.
21. Доказать эрмитовость оператора Гамильтона.

22. При каких условиях физическая величина в квантовой механике является интегралом движения?
23. Какое уравнение в квантовой механике позволяет анализировать интегралы движения?
24. Перечислите важнейшие законы сохранения и поясните их связь со свойствами симметрии пространства и времени.
25. Вывести закон сохранения энергии из свойства однородности времени.
26. Вывести закон сохранения импульса из свойства однородности пространства.
27. Вывести закон сохранения углового момента из свойства однородности и изотропности пространства.
28. Вывести уравнение, описывающее стационарное состояние квантовой системы?
29. Докажите, что стационарные состояния ортонормированны.
30. Вывести соотношения между средними значениями импульса и координаты частицы в состоянии ψ .
31. Вывести соотношение между средним значением силы и средним значением потенциальной энергии.
32. Исходя из соотношения неопределенностей оценить энергию основного состояния электрона в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной 0.2 нм.
33. Решить уравнение Шрёдингера для частицы, движущейся в однородном потенциальном поле $U=\text{const}$.
34. Проверить соотношение неопределенности для частицы в основном состоянии в бесконечно глубокой потенциальной яме.
35. Для линейного гармонического осциллятора, находящегося в основном состоянии вычислить $\langle x^2 \rangle$ и среднюю потенциальную энергию.
36. Для линейного гармонического осциллятора, энергия которого E , вычислить среднюю кинетическую энергию.
37. Почему любую физическую систему вблизи положения равновесия можно моделировать гармоническим осциллятором?
38. Дайте определение гармонического и ангармонического приближения.
Вычислить коэффициент прозрачности D барьера прямоугольной формы при $U=20$ эВ и $a=0.1$ нм для электрона и протона с энергией 10 эВ.
Для частицы массой m и энергией $E < U_0$ найти коэффициент прозрачности барьера, заданного на потенциальной кривой: $U(x)=U_0(1-x^2/a^2)$.
39. Какая доля электронов с энергией 1 эВ пройдет через потенциальный барьер высотой 8 эВ и толщиной 0.5 и 0.3 нм?
40. Поток электронов с энергией 1 эВ движется к потенциальному прямоугольному барьеру высотой 10 эВ бесконечной ширины. На каком расстоянии от поверхности барьера плотность тока электронов уменьшится в e раз?
41. Чему равна вероятность нахождения электрона вне классических границ его движения для линейного осциллятора в первом возбужденном состоянии?
42. Приведите 10 примеров проявления туннельного эффекта в природе и технике.
43. Найти собственные функции и собственные значения оператора \hat{L}_z , $\hat{L}_z = -i\hbar \frac{\partial}{\partial \phi}$ азимутальный угол (учесть, что $\psi(\phi) = \psi(\phi + 2\pi)$).
44. Найти собственные функции и собственные значения оператора \hat{p}_x , если $\psi(x) = \psi(x + a)$, где $a = \text{const}$.
45. В одномерной прямоугольной бесконечно глубокой потенциальной яме шириной a находится частица в состоянии $\psi(x) = A \sin^2(\pi x/a)$. Определить вероятность пребывания частицы в основном состоянии и среднее значение кинетической энергии.
46. Определить среднее значение механической величины, описываемой оператором \hat{L}_z в состоянии $\psi(\phi) = A \sin^2 \phi$, где ϕ азимутальный угол ($0 \leq \phi < 2\pi$).

4.4. Шкала оценивания промежуточной аттестации

Оценка	Компетенции	Дескрипторы (уровни) – основные признаки освоения (показатели достижения результата)
«зачтено» (50 - 100 баллов)	ОПК-1	На удовлетворительном уровне демонстрирует способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности
«не зачтено» (0 - 49 баллов)	ОПК-1	Не демонстрирует способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности

Экзамен

Оценка	Компетенции	Дескрипторы (уровни) – основные признаки освоения (показатели достижения результата)
«отлично» (85 - 100 баллов)	ОПК-1	На отличном уровне демонстрирует способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности
«хорошо» (70 - 84 баллов)	ОПК-1	На хорошем уровне демонстрирует способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности
«удовлетворительно» (50 - 69 баллов)	ОПК-1	На удовлетворительном уровне демонстрирует способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности
«неудовлетворительно» (менее 50 баллов)	ОПК-1	Не демонстрирует способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности

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

5.1 Методические указания по организации самостоятельной работы обучающихся:

Приступая к изучению дисциплины, в первую очередь обучающимся необходимо ознакомиться содержанием рабочей программы дисциплины (РПД), которая определяет содержание, объем, а также порядок изучения и преподавания учебной дисциплины, ее раздела, части.

Для самостоятельной работы важное значение имеют разделы «Объем и содержание дисциплины», «Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины» и «Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы».

В разделе «Объем и содержание дисциплины» указываются все разделы и темы изучаемой дисциплины, а также виды занятий и планируемый объем в академических часах.

В разделе «Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины» указана рекомендуемая основная и дополнительная литература.

В разделе «Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы» содержится перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, необходимых для освоения дисциплины.

5.2 Рекомендации обучающимся по работе с теоретическими материалами по дисциплине

При изучении и проработке теоретического материала необходимо:

- просмотреть еще раз презентацию лекции в системе MOODLe, повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной дополнительной литературы;

- при самостоятельном изучении теоретической темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПД источники, профессиональные базы данных и информационные справочные системы;
- ответить на вопросы для самостоятельной работы, по теме представленные в пункте 3.2 РПД.
- при подготовке к текущему контролю использовать материалы фонда оценочных средств (ФОС).

5.3 Рекомендации по работе с научной и учебной литературой

Работа с основной и дополнительной литературой является главной формой самостоятельной работы и необходима при подготовке к устному опросу на семинарских занятиях, к дебатам, тестированию, экзамену. Она включает проработку лекционного материала и рекомендованных источников и литературы по тематике лекций.

Конспект лекции должен содержать реферативную запись основных вопросов лекции, в том числе с опорой на размещенные в системе MOODLe презентации, основных источников и литературы по темам, выводы по каждому вопросу. Конспект может быть выполнен в рамках распечатки выдачи презентаций лекций или в отдельной тетради по предмету. Он должен быть аккуратным, хорошо читаемым, не содержать не относящуюся к теме информацию или рисунки.

Конспекты научной литературы при самостоятельной подготовке к занятиям должны содержать ответы на каждый поставленный в теме вопрос, иметь ссылку на источник информации с обязательным указанием автора, названия и года издания используемой научной литературы. Конспект может быть опорным (содержать лишь основные ключевые позиции), но при этом позволяющим дать полный ответ по вопросу, может быть подробным. Объем конспекта определяется самим студентом.

В процессе работы с основной и дополнительной литературой студент может:

- делать записи по ходу чтения в виде простого или развернутого плана (создавать перечень основных вопросов, рассмотренных в источнике);
- составлять тезисы (цитирование наиболее важных мест статьи или монографии, короткое изложение основных мыслей автора);
- готовить аннотации (краткое обобщение основных вопросов работы);
- создавать конспекты (развернутые тезисы).

5.4. Рекомендации по подготовке к отдельным заданиям текущего контроля

Собеседование предполагает организацию беседы преподавателя со студентами по вопросам практического занятия с целью более обстоятельного выявления их знаний по определенному разделу, теме, проблеме и т.п. Все члены группы могут участвовать в обсуждении, добавлять информацию, дискутировать, задавать вопросы и т.д.

Устный опрос может применяться в различных формах: фронтальный, индивидуальный, комбинированный. Основные качества устного ответа подлежащего оценке:

- правильность ответа по содержанию;
- полнота и глубина ответа;
- сознательность ответа;
- логика изложения материала;
- рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи;
- своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе;
- использование дополнительного материала;
- рациональность использования времени, отведенного на задание.

Устный опрос может сопровождаться презентацией, которая подготавливается по одному из вопросов практического занятия. При выступлении с презентацией необходимо обращать внимание на такие моменты как:

- содержание презентации: актуальность темы, полнота ее раскрытия, смысловое содержание, соответствие заявленной темы содержанию, соответствие методическим требованиям (цели, ссылки на ресурсы, соответствие содержания и литературы), практическая направленность, соответствие содержания заявленной форме, адекватность использования технических средств учебным задачам, последовательность и логичность презентуемого материала;

- оформление презентации: объем (оптимальное количество), дизайн (читаемость, наличие и соответствие графики и анимации, звуковое оформление, структурирование информации, соответствие заявленным требованиям), оригинальность оформления, эстетика, использование возможности программной среды, соответствие стандартам оформления;
- личностные качества: ораторские способности. соблюдение регламента, эмоциональность, умение ответить на вопросы, систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам программы:
- содержание выступления: логичность изложения материала, раскрытие темы, доступность изложения, эффективность применения средств ИКТ, способы и условия достижения результативности и эффективности для выполнения задач своей профессиональной или учебной деятельности, доказательность принимаемых решений, умение аргументировать свои заключения, выводы.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1 Основная литература:

1. Цвелик А.М. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния. - М.: Физматлит, 2004. - 320 с.
2. Кук Д. Квантовая теория молекулярных систем. Единый подход : [учеб. пособие]. - Долгопрудный: Издат. Дом "Интеллект", 2012. - 256 с.

6.2 Дополнительная литература:

1. Шпольский Э.В. Атомная физика : [в 2 т.] : учеб. пособие. - 7-е изд., испр.. - М.: Наука, 1984
2. Давыдов А. С. Квантовая механика : научное издание. - изд. 2-е, испр. и доп.. - Москва: Наука, 1973. - 705 с. - Текст : электронный // ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [сайт]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=499379>

6.3 Методические разработки:

1. Алтунин К. К. Квантовая механика : учебно-методическое пособие. - 2-е изд.. - Москва: Директ-Медиа, 2014. - 86 с. - Текст : электронный // ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [сайт]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240551>

6.4 Иные источники:

1. Единое окно доступа к образовательным интернет-ресурсам Федерального портала «Российское образование» - http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.1.21%2F
2. Университетская библиотека онлайн: электронно-библиотечная система - <http://www.biblioclub.ru>
3. Консультант студента. Гуманитарные науки: электронно-библиотечная система - <http://www.studentlibrary.ru>
4. Российская национальная библиотека - www.nlr.ru
5. Научная электронная библиотека Российской академии естествознания - www.monographies.ru

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины, программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для проведения занятий по дисциплине необходимо следующее материально-техническое обеспечение: учебные аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, помещения для самостоятельной работы.

Учебные аудитории и помещения для самостоятельной работы укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы укомплектованы компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Для проведения занятий лекционного типа используются наборы демонстрационного оборудования, обеспечивающие тематические иллюстрации (проектор, ноутбук, экран/ интерактивная доска).

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Стандартный Russian Edition. 1500-2499 Node 1 year Educational Renewal Licence

Операционная система Microsoft Windows 10

Adobe Reader XI - Russian

7-Zip 9.20

Microsoft Office Профессиональный плюс 2007

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.ru. – URL: <https://elibrary.ru>
2. Web of Science: политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая база данных . – URL: <https://apps.webofknowledge.com>
3. Scopus: база данных . – URL: <https://www.scopus.com>
4. Электронный каталог Фундаментальной библиотеки ТГУ. – URL: <http://biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog>
5. Электронная библиотека ТГУ. – URL: <https://elibrary.tsutmb.ru/>
6. Научная электронная библиотека Российской академии естествознания. – URL: <https://www.monographies.ru>
7. Российская государственная библиотека. – URL: <https://www.rsl.ru>
8. Российская национальная библиотека. – URL: <http://nlr.ru>
9. Федеральный портал «Российское образование». – URL: <https://www.edu.ru>
10. Президентская библиотека имени Б.Н. Ельцина. – URL: <https://www.prilib.ru>
11. Электронная библиотека РФФИ. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>

Электронная информационно-образовательная среда

https://auth.tsutmb.ru/authorize?response_type=code&client_id=moodle&state=xyz

Взаимодействие преподавателя и студента в процессе обучения осуществляется посредством мультимедийных, гипертекстовых, сетевых, телекоммуникационных технологий, используемых в электронной информационно-образовательной среде университета.