

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Ряполов Петр Алексеевич

Должность: декан ЕНФ

Дата подписания: 07.09.2024 23:31:50

Уникальный программный ключ:

efd3ecd9d183f7649d0e3a33c230c6662946c7c99039b2b268921fde408c1fb6

## Аннотация к рабочей программе

### дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика»

**Цель преподавания дисциплины:** формирование у студентов знаний о корпускулярно-волновых свойствах микрообъектов с отличной от нуля массой и их проявлениях на микро- и макроуровнях; математического аппарата квантовой механики и её аксиоматику; глубокого понимания значения квантовой теории как физики XX–XXI веков (в том числе, как основы современных нанотехнологий); готовности выявлять сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности на основе знаний о квантово-механических эффектах.

**Задачи изучения дисциплины:** обучение постулатам и принципам квантовой механики и статистической физики, на которых строится адекватное описание основных свойств и поведения атомов, ионов, молекул, конденсированных сред, и других систем с электронно-ядерным строением; овладение методикой расчета суммарного момента импульса электронов атома для описания его магнитных свойств и объяснения периодического закона; формирование базовых знаний для понимания устройства и работы наноаналитического оборудования; изучение методов расчета спектров волновых функций и энергетических спектров микрообъектов (способы решения основных уравнений квантовой механики, метод возмущений); овладение навыков решения прикладных квантомеханических задач (квантовая яма, туннельный эффект) математическими приемами используемыми в квантовой механике; изучение квантомеханических статистик микрообъектов и их отличия от классического распределения Больцмана.

### Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины

- владеет математическим аппаратом для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических химических систем, явлений и процессов, использования в обучении и профессиональной деятельности (ОПК-1.1);
- использует физические законы и принципы в своей профессиональной деятельности (ОПК-1.2);
- формирует демонстрационный материал и представляет результаты своей исследовательской деятельности на научных конференциях, во время промежуточных и итоговых аттестаций (ОПК-3.2).

### Разделы дисциплины

I. Основы нерелятивистской квантовой механики. Корпускулярно-волновой дуализм. Математический аппарат и основные понятия квантовой механики. Уравнение Шрёдингера. Одномерные квантово-механические задачи. Движение в центрально-симметричном поле. Приближённые методы квантовой механики. Спин. Системы тождественных частиц. Молекулы. Принципы спектроскопии. II. Статистическая физика. Основные положения статистической физики. Законы статистической термодинамики. Идеальный газ. Равновесие фаз и фазовые переходы. Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых микрочастиц.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Юго-Западный государственный университет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан факультета

естественно-научного

*(наименование ф-та полностью)*

 П.А. Ряполов  
*(подпись, инициалы, фамилия)*

« 31 » 08 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая механика и статистическая физика

*(наименование дисциплины)*

ОПОП ВО 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

*шифр и наименование направления подготовки (специальности)*

направленность (профиль, специализация) «Микро- и наносистемы»

*наименование направленности (профиля, специализации)*

форма обучения очная

*(очная, очно-заочная, заочная)*

Курск – 2019

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки (специальности) 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника на основании учебного плана ОПОП ВО 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, направленность (профиль, специализация) «Микро- и наносистемы», одобренного Ученым советом университета (протокол № 7 «29» марта 2019г.).

Рабочая программа дисциплины обсуждена и рекомендована к реализации в образовательном процессе для обучения студентов по ОПОП ВО 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, направленность (профиль, специализация) «Микро- и наносистемы» на заседании кафедры нанотехнологий, общей и прикладной физики № «1» 31.08 2019 г.  
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Кузько А.Е.

Разработчик программы

к.ф.-м.н., профессор \_\_\_\_\_ Соболев С.В.  
(ученая степень и ученое звание, Ф.И.О.)

Согласовано: на заседании кафедры заседании кафедры нанотехнологий, общей и прикладной физики № « » 20 г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Кузько А.Е.

(название кафедры, дата, номер протокола, подпись заведующего кафедрой; согласование производится с кафедрами, чьи дисциплины основываются на данной дисциплине, а также при необходимости руководителями других структурных подразделений)

Директор научной библиотеки \_\_\_\_\_ Макаровская В.Г.

Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и рекомендована к реализации в образовательном процессе на основании учебного плана ОПОП ВО 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, направленность (профиль, специализация) «Микро- и наносистемы», одобренного Ученым советом университета протокол № 7 «29» 03 2019 г., на заседании кафедры НМОиПФ 31.08.2020 № 1.  
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Кузько А.Е.

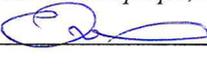
Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и рекомендована к реализации в образовательном процессе на основании учебного плана ОПОП ВО 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, направленность (профиль, специализация) «Микро- и наносистемы», одобренного Ученым советом университета протокол № 7 «25» 02 2021 г., на заседании кафедры НМОиПФ 31.08.2021 № 1.  
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Кузько А.Е.

Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и рекомендована к реализации в образовательном процессе на основании учебного плана ОПОП ВО 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, направленность (профиль, специализация) «Микро- и наносистемы», одобренного Ученым советом университета протокол № 9 «25» 06 2021 г., на заседании кафедры НМОиПФ № 1 от 31.08.2022 г.  
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Кузько А.Е.

Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и рекомендована к реализации в образовательном процессе на основании учебного плана ОПОП ВО 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, направленность (профиль) «Микро- и наносистемы», одобренного Ученым советом университета (протокол № 7 «28» 02 2022 г. на заседании кафедры 30.08.23, прот. №1, ММИР  
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой  / Якуш С.Ф.

Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и рекомендована к реализации в образовательном процессе на основании учебного плана ОПОП ВО 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, направленность (профиль) «Микро- и наносистемы», одобренного Ученым советом университета (протокол № 9 «17» 02 2023 г. на заседании кафедры ММИР №1 30.08.24  
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой  / Якуш С.Ф.

Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и рекомендована к реализации в образовательном процессе на основании учебного плана ОПОП ВО 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, направленность (профиль) «Микро- и наносистемы», одобренного Ученым советом университета (протокол №   «  »    20   г. на заседании кафедры     
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой   

Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и рекомендована к реализации в образовательном процессе на основании учебного плана ОПОП ВО 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, направленность (профиль) «Микро- и наносистемы», одобренного Ученым советом университета (протокол №   «  »    20   г. на заседании кафедры     
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой   

Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и рекомендована к реализации в образовательном процессе на основании учебного плана ОПОП ВО 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, направленность (профиль) «Микро- и наносистемы», одобренного Ученым советом университета (протокол №   «  »    20   г. на заседании кафедры     
(наименование кафедры, дата, номер протокола)

Зав. кафедрой

## **1 Цель и задачи дисциплины. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы**

### **1.1 Цель дисциплины**

Формирование у студентов знаний о корпускулярно-волновых свойствах микрообъектов с отличной от нуля массой и их проявлениях на микро- и макроуровнях; математического аппарата квантовой механики и её аксиоматику; глубокого понимания значения квантовой теории как физики XX–XXI веков (в том числе, как основы современных нанотехнологий); готовности выявлять сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности на основе знаний о квантово-механических эффектах.

### **1.2 Задачи дисциплины**

- обучение постулатам и принципам квантовой механики и статистической физики, на которых строится адекватное описание основных свойств и поведения атомов, ионов, молекул, конденсированных сред, и других систем с электронно-ядерным строением.

- овладение методикой расчета суммарного момента импульса электронов атома для описания его магнитных свойств и объяснения периодического закона

- формирование базовых знаний для понимания устройства и работы наноаналитического оборудования;

- изучение методов расчета спектров волновых функций и энергетических спектров микрообъектов (способы решения основных уравнений квантовой механики, метод возмущений);

- овладение навыков решения прикладных квантомеханических задач (квантовая яма, туннельный эффект) математическими приемами используемыми в квантовой механике;

- изучение квантомеханических статистик микрообъектов и их отличия от классического распределения Больцмана.

### **1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы**

Таблица 1.3 – Результаты обучения по дисциплине

<i>Планируемые результаты освоения основной профессиональной образовательной программы (компетенции, закрепленные за дисциплиной)</i>		<i>Код и наименование индикатора достижения компетенции, закрепленного за дисциплиной</i>	<i>Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций</i>
<i>код компетенции</i>	<i>наименование компетенции</i>		

Планируемые результаты освоения основной профессиональной образовательной программы (компетенции, закрепленные за дисциплиной)		Код и наименование индикатора достижения компетенции, закрепленного за дисциплиной	Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
код компетенции	наименование компетенции		
ОПК-1	ОПК-1 Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования)	ОПК-1.1 Владеет математическим аппаратом для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических химических систем, явлений и процессов, использования в обучении и профессиональной деятельности	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- постулаты квантовой механики и фундаментальные законы статистической физики;</li> <li>- методы описания макросистем на основе статистической термодинамики;</li> <li>- квантовые статистические распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять методы физико-математического моделирования для решения прикладных задач квантовой механики (коэффициент прозрачности барьера, энергия ионизации);</li> <li>- составлять уравнение Шредингера для микрочастицы, взаимодействующей с другими телами;</li> <li>- применять квантовую статистику Бозе-Эйнштейна для расчета теплоемкости твердых тел;</li> </ul> <p><b>Владеть (или Иметь опыт деятельности):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками решения уравнения Шредингера для поиска спектра энергий электрона, спектра его волновых функций и соответствующей вероятности нахождения электрона в пространстве;</li> <li>- навыками описания свойств электронного газа (теплоемкости), используя распределение Ферми-Дирака;</li> <li>- навыками описания свойств фотонного газа (давления равновесного электромагнитного излучения), используя распределение Бозе-Эйнштейна.</li> </ul>
		ОПК -1.2 Использует физические законы и принципы в своей профессиональной деятельности	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- фундаментальные физические законы в области квантовой механики и статистической физики,</li> </ul>

<i>Планируемые результаты освоения основной профессиональной образовательной программы (компетенции, закрепленные за дисциплиной)</i>		<i>Код и наименование индикатора достижения компетенции, закрепленного за дисциплиной</i>	<i>Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций</i>
<i>код компетенции</i>	<i>наименование компетенции</i>		
			<p>- физические принципы и механизмы, лежащие в основе построения и функционирования наноструктур,</p> <p>- основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне</p> <p><b>Уметь:</b></p> <p>- известными в квантовой механике методиками разработки физико-математических моделей процессов и явлений в области нанотехнологии,</p> <p>- уметь прогнозировать изменение свойств и характеристик наноструктур при изменении внешних условий или воздействий,</p> <p>- оценивать перспективы прикладного использования результатов квантово-механических и статистических расчетов</p> <p><b>Владеть (или Иметь опыт деятельности):</b></p> <p>- навыками решения задач и описания свойств вещества с позиции квантовой механики и статистической физики.</p> <p>- современной научной терминологией квантово-механической теории (квантово-полевой картины мира) и основными теоретическими и экспериментальными подходами в передовых направлениях нанотехнологии для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>- известными в квантовой механике методиками описания физико-математических моделей процессов и явлений в области нанотехнологии</p>

Планируемые результаты освоения основной профессиональной образовательной программы (компетенции, закрепленные за дисциплиной)		Код и наименование индикатора достижения компетенции, закрепленного за дисциплиной	Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций
код компетенции	наименование компетенции		
ОПК-3	ОПК-3 Способен проводить измерения и наблюдения, обрабатывать и представлять экспериментальные данные)	ОПК-3.2 Формирует демонстрационный материал и представляет результаты своей исследовательской деятельности на научных конференциях, во время промежуточных и итоговых аттестаций	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современные программные средства создания презентаций по научным работам;</li> <li>- правила оформления научных публикаций в области квантовой механики и статистической физики;</li> <li>- возможности прикладного применения законов квантовой механики и статистической физики в нанотехнологии, включая интеграцию со смежными областями научно-образовательной деятельности и промышленного производства;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать типовые программные продукты для оформления отчетов практических занятий;</li> <li>- использовать типовые программные продукты для создания презентаций;</li> <li>- пользоваться словарями профессиональных терминов в области нанотехнологии и микросистемной техники;</li> </ul> <p><b>Владеть (или Иметь опыт деятельности):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками написания и оформления рефератов;</li> <li>- навыками использования и цитирования научной литературы и публикаций при написании рефератов.</li> <li>- навыками работы с учебными пособиями и научными статьями по квантовой механике и статистической физике;</li> </ul>

## 2 Указание места дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина «Квантовая механика и статистическая физика» входит в обязательную часть блока 1 «Дисциплины (модули)» основной профессиональной образовательной программы – программы бакалавриата (специалитета, магистратуры) 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, направленность (профиль, специализация) «Микро- и наносистемы». Дисциплина изучается на 2 курсе в 4 семестре.

### **3 Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 5 зачетных единиц (з.е.), 180 академических часов.

Таблица 3 - Объем дисциплины

Виды учебной работы	Всего, часов
Общая трудоемкость дисциплины	180
Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий (всего)	49,15
в том числе:	
лекции	24
лабораторные занятия	12
практические занятия	12
Самостоятельная работа обучающихся (всего)	94,85
Контроль (подготовка к экзамену)	36
Контактная работа по промежуточной аттестации (всего АттКР)	1,15
в том числе:	
зачет	не предусмотрен
зачет с оценкой	не предусмотрен
курсовая работа (проект)	не предусмотрена
экзамен (включая консультацию перед экзаменом)	1,15

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

#### **4.1 Содержание дисциплины**

Таблица 4.1.1 – Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Содержание
1	2	3
1	<b>I. ОСНОВЫ НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЙ КВАНТОВОЙ</b>	Экспериментальные и теоретические предпосылки возникновения квантовой физики. Гипотеза де Бройля о волновых

	<b>МЕХАНИКИ</b> Корпускулярно-волновой дуализм. Математический аппарат и основные понятия квантовой механики	свойства частиц и её экспериментальные подтверждения. Формулы де Бройля. Основоположники квантовой теории. Соотношения неопределенностей Гейзенберга и следствия из них. Основы теорий линейных эрмитовых операторов. Волновая функция частицы в координатном и импульсном представлениях. Физический смысл волновой функции. Условие нормировки. Принцип суперпозиции состояний. Постулаты квантовой механики. Условие одновременной измеримости физических величин. Полный набор физических величин.
2	Уравнение Шрёдингера	Стационарное и общее уравнения Шрёдингера. Опτικο-механическая аналогия. Предельный переход к классической механике. Принцип соответствия. Принцип причинности в квантовой механике. Плотность потока вероятности. Закон сохранения вероятности. Формула для производной оператора по времени. Законы сохранения в квантовой механике. Теорема Эренфеста.
3	Одномерные квантовомеханические задачи	Волновые функции и энергетический спектр свободной частицы. Задача о движении частицы в потенциальной яме. Туннельный эффект. Коэффициент прозрачности барьера. Холодная эмиссия электронов из металлов. Альфа-распад атомных ядер. Линейный гармонический осциллятор.
4	Движение в центрально-симметричном поле	Собственные функции и спектр оператора квадрата момента импульса. Орбитальное квантовое число. Магнитное квантовое число. Решение уравнения Шрёдингера для частицы в центрально-симметричном поле. Уравнения для радиальной и угловой частей волновой функции. Водородоподобный атом, его энергетический спектр и волновые функции. Классификация состояний водородоподобного атома. Распределение плотности вероятности для электрона водородоподобного атома.
5	Приближённые методы квантовой механики	Стационарная теория возмущений в отсутствие вырождения (первое приближение). Атом гелия в основном состоянии. Нестационарная теория возмущений (теория квантовых переходов). Правила отбора для осциллятора и электрона водородоподобного атома. Квазиклассическое приближение. Теория рассеяния.
6	Спин	Магнитомеханические опыты. Спин электрона. Волновые функции электрона с учётом спина. Матрицы Паули. Правила сложения моментов импульса в квантовой механике. Полный момент импульса атома. Классификация атомных состояний. Магнитный момент атома. Множитель Ланде. Эффект Зеемана.
7	Системы тождественных частиц	Принцип неразличимости одинаковых частиц. Симметрия волновой функции относительно перестановки частиц и её связь со спином частицы. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.
8	Молекулы	Периодическая система элементов Менделеева. Энергетический спектр двухатомной молекулы. Молекула водорода. Обменное взаимодействие и химическая связь. Ван-

		дерваальсова связь.
9	Принципы спектроскопии	ИК- спектроскопия. Комбинационное рассеяние (Раман-спектроскопия). Характеристическое рентгеновское излучение (элементных анализ).
10	<b>II. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА</b> Основные положения статистической физики	Термодинамический и статистический методы описания макросистем. Предмет статистической термодинамики. Микроскопическое состояние классической системы. Фазовое пространство. Функция статистического распределения и её свойства (нормировка, мультипликативность). Вычисление средних значений физических величин с помощью функции распределения. Относительные флуктуации аддитивных величин. Экстенсивные и интенсивные параметры. Теорема Лиувилля. Связь функции распределения с законами сохранения. Функции статистического распределения классической системы. Статистическая и термодинамическая температуры. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса для системы тождественных частиц в квазиклассическом приближении. Статистическое описание квантовых систем. Постулат о равновероятности микросостояний с одной энергией. Микроканоническое и каноническое распределения Гиббса. Статистическое определение энтропии и закон её возрастания для замкнутых систем.
11	Законы статистической термодинамики	Параметры термодинамического состояния. Исходные положения термодинамики. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия системы. Работа и теплота. Первое начало термодинамики. Связь количества теплоты с изменением энтропии системы. Основное термодинамическое тождество. Теплоёмкость системы. Изопроцессы. Второе начало термодинамики. Третье начало термодинамики. Поведение теплоёмкости системы при $T \rightarrow 0$ К. Термодинамические функции (внутренняя энергия, свободная энергия, тепловая функция, термодинамический потенциал Гиббса) и их свойства. Зависимость термодинамических величин от числа частиц. Химический потенциал. Большое каноническое распределение Гиббса.
12	Идеальный газ	Одноатомный идеальный газ. Основные термодинамические функции и уравнение состояния. Теплоёмкости при постоянном объёме и давлении. Закон равномерного распределения энергии классической системы по степеням свободы. Теплоёмкость двухатомного идеального газа. Затруднения классической теории теплоёмкости идеальных газов. Квантовая теория теплоёмкости двухатомного идеального газа.
13	Равновесие фаз и фазовые переходы	Фаза вещества. Условия равновесия двухфазной системы одного вещества. Уравнение кривой фазового равновесия (уравнение Клапейрона–Клаузиуса). Фазовые переходы первого рода. Температурная зависимость давления насыщенного пара. Критическая точка. Тройная точка. Понятие о фазовых переходах второго рода.
14	Квантовая статистика систем,	Распределения Ферми–Дирака и Бозе–Эйнштейна. Крите-

состоящих из одинаковых микрочастиц	рий вырождения газа. Электронный газ в металле. Внутренняя энергия и теплоёмкость электронного газа. Описание свойств фотонного газа с помощью статистики Бозе–Эйнштейна. Формулы Планка, Рэля–Джинса и Вина. Внутренняя энергия, энтропия и давление равновесного электромагнитного излучения. Характер тепловых колебаний кристаллической решетки. Распределение числа нормальных колебаний решетки по частотам. Фононы. Энергия нормальных колебаний. Теплоёмкость твёрдых тел. Формула Дебая. Закон Дюлонга и Пти. Влияние электронного газа на теплоёмкость кристалла
-------------------------------------	--

Таблица 4.1.2 –Содержание дисциплины и его методическое обеспечение

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Виды деятельности			Учебно-методические материалы	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)	Компетенции
		лек., час	№ лаб.	№ пр.			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	<b>I. ОСНОВЫ НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ</b> Корпускулярно-волновой дуализм. Математический аппарат и основные понятия квантовой механики.	2	1	1	У-2, МУ-1, МУ-2	ПР-2, ЛР-2, Т-2	ОПК-1.1 ОПК-1.2
2	Уравнение Шрёдингера. Одномерные квантово-механические задачи	2		2	У-2, МУ-2	ПР-4, Т-4	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.2
3	Движение в центрально-симметричном поле	2		3	У-1,У-2, МУ-2	ПР-6 Т-6	ОПК-1.1 ОПК-1.2
4	Приближённые методы квантовой механики	2	2	3	У-1,У-2, МУ-1, МУ-2	ПР-6, ЛР-6, Т-6	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.2
5	Спин.	2		4	У-1, У-2, МУ-2	ПР-8 Т-8	ОПК-1.1 ОПК-1.2
6	Системы тождественных частиц. Молекулы.	2		5	У-1,У-2, МУ-2	ПР-10 Т-10	ОПК-1.1 ОПК-1.2
7	Принципы спектроскопии	2	4	5	У-1,У-2, МУ-1, МУ-2	ПР-10 ЛР-10 Т-10	ОПК-1.1 ОПК-1.2
8	<b>II. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА</b> Основные положения статистической физики	2		6	У-3, МУ-2	ПР-12 Т-12	ОПК-1.1 ОПК-1.2
9	Законы статистической термодинамики	2		7	У-3 МУ-2	ПР-14 Т-14	ОПК-1.1 ОПК-1.2

10	Идеальный газ	2	3	8	У-3, МУ-1, МУ-2	ПР-16 ЛР-16 Т-16	ОПК-1.1 ОПК-1.2
11	Равновесие фаз и фазовые переходы	2		8	У-3, МУ-2	ПР-16 Т-16	ОПК-1.1 ОПК-1.2
12	Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых микрочастиц	2		9	У-3, МУ-2	ПР-18 Т-18	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.2

ПР – проверка решения задач, ЛР – защита лабораторной работы, Т – тест

## 4.2 Лабораторные работы и (или) практические занятия

### 4.2.1 Лабораторные работы

Таблица 4.2.1 – Лабораторные работы

№	Наименование лабораторной работы	Объем, час
1	2	3
1	Изучение сериальных закономерностей в спектре излучения атома водорода	2
2	Проверка квантовомеханического принципа суперпозиции методом компьютерного моделирования	2
3	Квантовый гармонический осциллятор	4
4	Расщепление спектральных линий электронов в магнитном поле и подтверждение разницы населенностей подуровней посредством ЭПР	4
Итого		12

### 4.2.2 Практические занятия

Таблица 4.2.2 – Практические занятия

№	Наименование практического (семинарского) занятия	Объем, час
1	2	3
1	Корпускулярно-волновой дуализм. Основные понятия квантовой механики	1
2	Уравнение Шрёдингера. Одномерные квантово-механические задачи	2
3	Движение в центрально-симметричном поле. Приближенные методы квантовой механики	2
4	Спин	1
5	Системы тождественных частиц. Молекулы	1
6	Основные положения статистической физики	2
7	Законы статистической термодинамики	1
8	Идеальный газ. Равновесие фаз и фазовые переходы	1
9	Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых микрочастиц	1
Итого		12

## 4.3 Самостоятельная работа студентов (СРС)

Таблица 4.3 – Самостоятельная работа студентов

№ раздела (темы)	Наименование раздела(темы) дисциплины	Срок выполнения	Время, затрачиваемое на выполнение СРС, час.
1	2	3	4
1	Корпускулярно-волновой дуализм. Математический аппарат и основные понятия квантовой механики	2 неделя	8
2	Уравнение Шрёдингера. Одномерные квантово-механические задачи	4 неделя	8
3	Движение в центрально-симметричном поле	6 неделя	8
4	Приближённые методы квантовой механики	7 неделя	8
5.	Спин	9 неделя	8
6	Системы тождественных частиц. Молекулы.	10 неделя	10
7	Принципы спектроскопии	12 неделя	8
8	Основные положения статистической физики	14 неделя	8
9	Законы статистической термодинамики	15 неделя	8
10	Идеальный газ	16 неделя	8
11	Равновесие фаз и фазовые переходы	17 неделя	4,85
12	Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых микрочастиц	18 неделя	8
Итого			94,85

## 5 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Студенты могут при самостоятельном изучении отдельных тем и вопросов дисциплин пользоваться учебно-наглядными пособиями, учебным оборудованием и методическими разработками кафедры в рабочее время, установленное Правилами внутреннего распорядка работников.

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по данной дисциплине организуется:

*библиотекой университета:*

- библиотечный фонд укомплектован учебной, методической, научной, периодической, справочной и художественной литературой в соответствии с УП и данной РПД;

- имеется доступ к основным информационным образовательным ресурсам, информационной базе данных, в том числе библиографической, возможность выхода в Интернет.

*кафедрой:*

- путем обеспечения доступности всего необходимого учебно-методического и справочного материала;

- путем предоставления сведений о наличии учебно-методической литературы, современных программных средств.

- путем разработки:

- методических рекомендаций, пособий по организации самостоятельной ра-

боты студентов;

– тем рефератов;

– вопросов к зачету;

– методических указаний к выполнению лабораторных работ и т.д.

*типографией университета:*

– помощь авторам в подготовке и издании научной, учебной и методической литературы;

– удовлетворение потребности в тиражировании научной, учебной и методической литературы.

## **6 Образовательные технологии. Технологии использования воспитательного потенциала дисциплины**

Реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в образовательном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций обучающихся.

Таблица 6.1 – Интерактивные образовательные технологии, используемые при проведении аудиторных занятий

№	Наименование раздела (темы лекции, практического или лабораторного занятия)	Используемые интерактивные образовательные технологии	Объем, час.
1	2	3	4
1	Лекция раздела: «Одномерные квантово-механические задачи»	Разбор конкретных ситуаций	2
2	Лекция раздела: «Спин»	Разбор конкретных ситуаций	2
3	Лекция раздела: «Принципы спектроскопии»	Разбор конкретных ситуаций	2
4	Лекция раздела: «Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых частиц»	Разбор конкретных ситуаций	2
5	Практическое занятие: «Уравнение Шрёдингера. Одномерные квантово-механические задачи»	Разбор конкретных ситуаций	2
6	Практическое занятие: «Движение в центрально-симметричном поле. Приближенные методы квантовой механики»	Разбор конкретных ситуаций	2
7	Практическое занятие: «Спин»	Разбор конкретных ситуаций	2
8	Практическое занятие: «Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых микрочастиц»	Разбор конкретных ситуаций	2
Итого			16

Содержание дисциплины обладает значительным воспитательным потенциалом, поскольку в нем аккумулирован исторический и современный научный опыт человечества. Реализация воспитательного потенциала дисциплины осуществляется в рамках единого образовательного и воспитательного процесса и способствует не-

прерывному развитию личности каждого обучающегося. Дисциплина вносит значимый вклад в формирование общей и профессиональной культуры обучающихся. Содержание дисциплины способствует профессионально-трудовому воспитанию обучающихся.

Реализация воспитательного потенциала дисциплины подразумевает:

- целенаправленный отбор преподавателем и включение в лекционный материал, материал для практических и лабораторных занятий содержания, демонстрирующего обучающимся образцы настоящего научного подвижничества создателей и представителей данной отрасли науки (производства), высокого профессионализма ученых (представителей производства), их ответственности за результаты и последствия деятельности для человека и общества; примеры подлинной нравственности людей, причастных к развитию науки и производства, а также примеры творческого мышления;

- применение технологий, форм и методов преподавания дисциплины, имеющих высокий воспитательный эффект за счет создания условий для взаимодействия обучающихся с преподавателем, другими обучающимися, представителями работодателей (командная работа, проектное обучение, разбор конкретных ситуаций, решение кейсов);

- личный пример преподавателя, демонстрацию им в образовательной деятельности и общении с обучающимися за рамками образовательного процесса высокой общей и профессиональной культуры.

Реализация воспитательного потенциала дисциплины на учебных занятиях направлена на поддержание в университете единой развивающей образовательной и воспитательной среды. Реализация воспитательного потенциала дисциплины в ходе самостоятельной работы обучающихся способствует развитию в них целеустремленности, инициативности, креативности, ответственности за результаты своей работы – качеств, необходимых для успешной социализации и профессионального становления.

## **7 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

### **7.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы**

Таблица 7.1 – Этапы формирования компетенций

Код и наименование компетенции	Этапы* формирования компетенций и дисциплины (модули) и практики, при изучении/ прохождении которых формируется данная компетенция		
	начальный	основной	завершающий
1	2	3	4
ОПК-1.1 Владеет математическим аппаратом для описания, анализа, теоретиче-	Физика Химия Прикладная ме-	Кристаллография Квантовая механика и статистическая физика	Физика конденсированного состояния

ского и экспериментального исследования и моделирования физических химических систем, явлений и процессов, использования в обучении и профессиональной деятельности	ханика Физика диэлектриков	Учебная ознакомительная практика	
	Высшая математика		
ОПК-1.2 Использует физические законы и принципы в своей профессиональной деятельности	Физика Физика диэлектриков	Квантовая механика и статистическая физика Учебная ознакомительная практика	Физика конденсированного состояния
ОПК-3.2 Формирует демонстрационный материал и представляет результаты своей исследовательской деятельности на научных конференциях, во время промежуточных и итоговых аттестаций	Физика Химия Метрология, стандартизация и сертификация Физика диэлектриков	Электротехника	Квантовая механика и статистическая физика Учебная ознакомительная практика

## 7.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Таблица 7.2 – Показатели и критерии оценивания компетенций, шкала оценивания

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций		
		Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (хорошо)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций		
		Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (хорошо)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5
ОПК-1/ основной	ОПК-1.1 Владеет математическим аппаратом для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических химических систем, явлений и процессов, использования в обучении и профессиональной деятельности	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы описания макросистем на основе статистической термодинамики;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять методы физико-математического моделирования для решения прикладных задач квантовой механики (коэффициент прозрачности барьера, энергия ионизации);</li> </ul>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы описания макросистем на основе статистической термодинамики;</li> <li>- квантовые статистические распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять методы физико-математического моделирования для решения прикладных задач квантовой механики (коэффициент прозрачности барьера, энергия ионизации);</li> <li>- составлять уравнение Шредингера для микрочастицы, взаимодействующей с другими телами;</li> </ul>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- постулаты квантовой механики и фундаментальные законы статистической физики;</li> <li>- методы описания макросистем на основе статистической термодинамики;</li> <li>- квантовые статистические распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять методы физико-математического моделирования для решения прикладных задач квантовой механики (коэффициент прозрачности барьера, энергия ионизации);</li> <li>- составлять уравнение Шредингера для микрочастицы, взаимодействующей с другими телами;</li> <li>- применять квантовую статистику Бозе-Эйнштейна для расчета теплоемкости твердых</li> </ul>

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций		
		Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (хорошо)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5
		<p>Владеть (или Иметь опыт деятельности):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками решения уравнения Шредингера для поиска спектра энергий электрона, спектра его волновых функций и соответствующей вероятности нахождения электрона в пространстве;</li> </ul>	<p>Владеть (или Иметь опыт деятельности):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками решения уравнения Шредингера для поиска спектра энергий электрона, спектра его волновых функций и соответствующей вероятности нахождения электрона в пространстве;</li> <li>- навыками описания свойств электронного газа (теплоемкости), используя распределение Ферми-Дирака;</li> </ul>	<p>тел;</p> <p>Владеть (или Иметь опыт деятельности):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками решения уравнения Шредингера для поиска спектра энергий электрона, спектра его волновых функций и соответствующей вероятности нахождения электрона в пространстве;</li> <li>- навыками описания свойств электронного газа (теплоемкости), используя распределение Ферми-Дирака;</li> <li>- навыками описания свойств фотонного газа (давления равновесного электромагнитного излучения), используя распределение Бозе-Эйнштейна.-</li> </ul>
	ОПК-1.2 Использует физические законы и принципы в своей профессиональной деятельности	Знать: -фундаментальные физические законы в области квантовой механики и статистической физики,	Знать: - фундаментальные физические законы в области квантовой	Знать: -фундаментальные физические законы в области квантовой механики и статистической фи-

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций		
		Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (хорошо)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5
		<p>Уметь:</p> <p>-известными в квантовой механике методиками разработки физико-математических моделей процессов и явлений в области нанотехнологии,</p> <p>Владеть (или Иметь опыт деятельности):</p>	<p>механики и статистической физики,</p> <p>- физические принципы и механизмы, лежащие в основе построения и функционирования наноструктур,</p> <p>Уметь:</p> <p>-известными в квантовой механике методиками разработки физико-математических моделей процессов и явлений в области нанотехнологии,</p> <p>- уметь прогнозировать изменение свойств и характеристик наноструктур при изменении внешних условий или воздействий,</p> <p>Владеть (или Иметь опыт деятельности):</p>	<p>зика,</p> <p>- физические принципы и механизмы, лежащие в основе построения и функционирования наноструктур,</p> <p>-основные механизмы физических явлений, происходящих на наноуровне</p> <p>Уметь:</p> <p>-известными в квантовой механике методиками разработки физико-математических моделей процессов и явлений в области нанотехнологии,</p> <p>- уметь прогнозировать изменение свойств и характеристик наноструктур при изменении внешних условий или воздействий,</p> <p>- оценивать перспективы прикладного использования результатов квантово-механических и статистических расчетов</p> <p>Владеть (или Иметь опыт деятельности):</p>

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций		
		Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (хорошо)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5
		- навыками решения задач и описания свойств вещества с позиции квантовой механики и статистической физики.	- навыками решения задач и описания свойств вещества с позиции квантовой механики и статистической физики. - современной научной терминологией квантово-механической теории (квантово-полевой картины мира) и основными теоретическими и экспериментальными подходами в передовых направлениях нанотехнологии для решения задач профессиональной деятельности.	сти): - навыками решения задач и описания свойств вещества с позиции квантовой механики и статистической физики. - современной научной терминологией квантово-механической теории (квантово-полевой картины мира) и основными теоретическими и экспериментальными подходами в передовых направлениях нанотехнологии для решения задач профессиональной деятельности. - известными в квантовой механике методиками описания физико-математических моделей процессов и явлений в области нанотехнологии
ОПК-3/ завершающий	ОПК-3.2 Формирует демонстрационный материал и представляет результаты своей исследовательской деятельности на	Знать: - современные программные средства создания презентаций по научным работам;	Знать: - современные программные средства создания презентаций по научным работам;	Знать: - современные программные средства создания презентаций по научным работам; - правила оформле-

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций		
		Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (хорошо)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5
	научных конференциях, во время промежуточных и итоговых аттестаций	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать типовые программные продукты для оформления отчетов практических занятий;</li> </ul> <p>Владеть (или Иметь опыт деятельности):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Знать:</li> <li>Уметь:</li> <li>- навыками написа-</li> </ul>	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- правила оформления научных публикаций в области квантовой механики и статистической физики;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать типовые программные продукты для оформления отчетов практических занятий;</li> <li>- использовать типовые программные продукты для создания презентаций;</li> </ul> <p>Владеть (или Иметь опыт деятельности):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками написания и</li> </ul>	<p>ния научных публикаций в области квантовой механики и статистической физики;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- возможности прикладного применения законов квантовой механики и статистической физики в наноиндустрии, включая интеграцию со смежными областями научно-образовательной деятельности и промышленного производства;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать типовые программные продукты для оформления отчетов практических занятий;</li> <li>- использовать типовые программные продукты для создания презентаций;</li> <li>- пользоваться словарями профессиональных терминов в области нанотехнологии и микросистемной техники;</li> </ul> <p>Владеть (или Иметь</p>

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций		
		Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень («хорошо»)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5
		ния и оформления рефератов;	оформления рефератов; - навыками использования и цитирования научной литературы и публикаций при написании рефератов.	опыт деятельности): - навыками написания и оформления рефератов; - навыками использования и цитирования научной литературы и публикаций при написании рефератов. - навыками работы с учебными пособиями и научными статьями по квантовой механике и статистической физике.

**7.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения основной профессиональной образовательной программы**

Таблица 7.3 - Паспорт комплекта оценочных средств для текущего контроля успеваемости

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или её части)	Технология формирования	Оценочные средства		Описание шкал оценивания
				наименование	№№ заданий	
1	2	3	4	5	6	7
1.	<b>I. ОСНОВЫ НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ</b> Корпускулярно-	ОПК-1.1 ОПК-1.2	лекция, практическое занятие, лабораторная работа,	отчет по решению задач	I. 1.1-2.14	Согласно табл. 7.2

	волновой дуализм. Математический аппарат и основные понятия квантовой механики		СРС	контрольные вопросы к лаб № 1	1-9	
				БТЗ	1	
2.	Уравнение Шрёдингера. Одномерные квантово-механические задачи	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.2	лекция, практическое занятие СРС	отчет по решению задач	I. 3.1-3.9	Согласно табл. 7.2
				БТЗ	2	
3.	Движение в центрально-симметричном поле	ОПК-1.1 ОПК-1.2	лекция, практическое занятие СРС	отчет по решению задач	I. 5.1-5.9	Согласно табл. 7.2
				БТЗ	3	
4.	Приближённые методы квантовой механики	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.2	лекция, практическое занятие лабораторная работа, СРС	отчет по решению задач	I. 6.1-6.6	Согласно табл. 7.2
				контрольные вопросы к лаб № 2	1-9	
				БТЗ	4	
5.	Спин	ОПК-1.1 ОПК-1.2	лекция, практическое занятие, СРС	отчет по решению задач	I. 7.1-7.11	Согласно табл. 7.2
				БТЗ	5	
6.	Системы тождественных частиц. Молекулы.	ОПК-1.1 ОПК-1.2	лекция, практическое занятие СРС	отчет по решению задач	I. 8.1-8.8	Согласно табл. 7.2
				БТЗ	6	
7.	Принципы спектроскопии	ОПК-1.1 ОПК-1.2	лекция, практическое занятие, лабораторная работа, СРС	отчет по решению задач	I. 9.1-9.9	Согласно табл. 7.2
				контрольные вопросы к лаб № 4	1-5	
				БТЗ	7	

8.	<b>II. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА</b> Основные положения статистической физики	ОПК-1.1 ОПК-1.2	лекция, практическое занятие СРС	отчет по решению задач	II. 1.1 – 1.16	Согласно табл. 7.2
				тест	8	
9.	Законы статистической термодинамики	ОПК-1.1 ОПК-1.2	лекция, практическое занятие СРС	отчет по решению задач	II. 2.1 – 2.21	Согласно табл. 7.2
				тест	9	
10.	Идеальный газ	ОПК-1.1 ОПК-1.2	лекция, практическое занятие, лабораторная работа, СРС	отчет по решению задач	II. 3.1 – 3.11	Согласно табл. 7.2
				кон- трольные вопросы к лаб № 3	1-3	
				тест	10	
11.	Равновесие фаз и фазовые переходы	ОПК-1.1 ОПК-1.2	лекция, практическое занятие СРС	отчет по решению задач	II. 4.1 – 4.8	Согласно табл. 7.2
				тест	11	
12.	Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых микрочастиц	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-3.2	лекция, практическое занятие СРС	отчет по решению задач	II. 5.1 – 5.11	Согласно табл. 7.2
				тест	12	

### **Примеры типовых контрольных заданий для проведения текущего контроля успеваемости**

Вопросы в тестовой форме по разделу I. «ОСНОВЫ НЕРЕЛЯТИВИСТСКОЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ»

№ 19. В чём заключается явление холодной эмиссии электронов из металлов?

1. Охлаждение электронного газа при выходе из металла.

2. Вылет электронов

из металла под действием созданного в нём электрического поля.

3. Охлаждение электронного газа в поле электромагнитной волны.

4. Вылет электронов из металла под действием электрического поля, перпендикулярного его поверхности.

Типовые задачи

1. Частица массой  $m$  находится в двумерной потенциальной яме вида:

$$U(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 < x < a, 0 < y < a; \\ \infty & \text{при } x \leq 0, x \geq a, y \leq 0, y \geq a. \end{cases}$$

Определить энергетический спектр  $E_{n_1 n_2}$ , волновые функции  $\psi_{n_1 n_2}(x, y)$  и значения энергии  $E_j$  частицы для первых 4-х уровней.

2. Частица налетает из области  $x < 0$  на потенциальный барьер вида:

$$U = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0; \\ U_0 & \text{при } x > 0. \end{cases}$$

Энергия частицы  $E > U_0$ . Определить коэффициент прозрачности барьера  $D$ .

3. Частица налетает из области  $x < 0$  на потенциальный барьер вида:

$$U = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0; \\ -U_0 & \text{при } x > 0. \end{cases}$$

Энергия частицы  $E > 0$ . Определить коэффициент отражения частицы от барьера  $R$  в случаях: а)  $E \ll U_0$ ; б)  $E \gg U_0$ .

Полностью оценочные материалы и оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости представлены в УММ по дисциплине.

### **Типовые задания для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

*Промежуточная аттестация* по дисциплине проводится в форме экзамена. Экзамен проводится в виде бланкового и/или компьютерного тестирования.

Для тестирования используются контрольно-измерительные материалы (КИМ) – вопросы и задания в тестовой форме, составляющие банк тестовых заданий (БТЗ) по дисциплине, утвержденный в установленном в университете порядке.

Проверяемыми на промежуточной аттестации элементами содержания являются темы дисциплины, указанные в разделе 4 настоящей программы. Все темы дисциплины отражены в КИМ в равных долях (%). БТЗ включает в себя не менее 100 заданий и постоянно пополняется. БТЗ хранится на бумажном носителе в составе УММ и электронном виде в ЭИОС университета.

Для проверки *знаний* используются вопросы и задания в различных формах:

- закрытой (с выбором одного или нескольких правильных ответов),
- открытой (необходимо вписать правильный ответ),
- на установление правильной последовательности,
- на установление соответствия.

Умения, навыки (или опыт деятельности) и компетенции проверяются с помощью компетентностно-ориентированных задач (ситуационных, производственных или кейсового характера) и различного вида конструкторов. Все задачи являются многоходовыми. Некоторые задачи, проверяющие уровень сформированности компетенций, являются многовариантными. Часть умений, навыков и компетенций прямо не отражена в формулировках задач, но они могут быть проявлены обучающимися при их решении.

В каждый вариант КИМ включаются задания по каждому проверяемому элементу содержания во всех перечисленных выше формах и разного уровня сложности. Такой формат КИМ позволяет объективно определить качество освоения обучающимися основных элементов содержания дисциплины и уровень сформированности компетенций.

### **Примеры типовых заданий для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Задание в закрытой форме:

Какие значения получаются в процессе измерения физической величины?

- собственные её оператора
- любые
- собственные оператора Гамильтона
- дискретные

Задание в открытой форме:

При каком условии две физические величины могут иметь определённые численные значения?

Компетентностно-ориентированная задача:

1. Частица находится в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме на третьем энергетическом уровне. Чему равна вероятность  $W$  обнаружения частицы в области, составляющей  $1/4$  ширины ямы от её левого края?

2. Найти угол  $\varphi$  между спином и полным моментом импульса электронной конфигурации атома в состоянии  $^3D$  с максимально возможным значением полного момента импульса.

Полностью оценочные материалы и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации обучающихся представлены в УММ по дисциплине.

### **7.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, регулируются следующими нормативными актами университета:

– положение П 02.016–2018 Обально-рейтинговой системе оценивания результатов обучения по дисциплинам (модулям) и практикам при освоении обучающимися образовательных программ;

– методические указания, используемые в образовательном процессе, указанные в списке литературы.

Для *текущего контроля успеваемости* по дисциплине в рамках действующей в университете балльно-рейтинговой системы применяется следующий порядок начисления баллов:

Таблица 7.4 – Порядок начисления баллов в рамках БРС

Форма контроля	Минимальный балл		Максимальный балл	
	балл	примечание	балл	примечание
1	2	3	4	5
Практическое занятие № 1 (Корпускулярно-волновой дуализм. Основные понятия квантовой механики)	1	Выполнил, но «не защитил»	2	Выполнил и «защитил»
Практическое занятие № 2 (Уравнение Шрёдингера. Одномерные квантово-механические задачи)	1	Выполнил, но «не защитил»	2	Выполнил и «защитил»
Практическое занятие № 3 (Движение в центрально-симметричном поле. Приближенные методы квантовой механики)	1	Выполнил, но «не защитил»	2	Выполнил и «защитил»
Практическое занятие № 4 (Спин)	1	Выполнил, но «не защитил»	2	Выполнил и «защитил»
Практическое занятие № 5 (Системы тождественных частиц. Молекулы)	1	Выполнил, но «не защитил»	2	Выполнил и «защитил»
Практическое занятие № 6 (Основные положения статистической физики)	1	Выполнил, но «не защитил»	2	Выполнил и «защитил»
Практическое занятие № 7 (Законы статистической термодинамики)	1	Выполнил, но «не защитил»	2	Выполнил и «защитил»
Практическое занятие № 8 (Идеальный газ. Равновесие фаз и фазовые переходы)	1	Выполнил, но «не защитил»	2	Выполнил и «защитил»
Практическое занятие № 9 (Квантовая статистика систем, состоящих из одинаковых микрочастиц)	1	Выполнил, но «не защитил»	2	Выполнил и «защитил»
Лабораторная работа № 1 (Изучение серийных закономерностей в спектре излучения атома водорода)	0,5	Выполнил, но «не защитил»	1	Выполнил и «защитил»
Лабораторная работа № 2 (Проверка квантовомеханического	0,5	Выполнил, но «не защитил»	1	Выполнил и «защитил»

принципа суперпозиции методом компьютерного моделирования)				
Лабораторная работа № 3 (Квантовый гармонический осциллятор)	1	Выполнил, но «не защитил»	2	Выполнил и «защитил»
Лабораторная работа № 4 (Расщепление спектральных линий электронов в магнитном поле и подтверждение разницы населенностей подуровней посредством ЭПР)	1	Выполнил, но «не защитил»	2	Выполнил и «защитил»
СРС	12		24	
Итого	24		48	
Посещаемость	0		16	
Зачет	0		36	
Итого	24		100	

Для промежуточной аттестации обучающихся, проводимой в виде тестирования, используется следующая методика оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности. В каждом варианте КИМ –16 заданий (15 вопросов и одна задача).

Каждый верный ответ оценивается следующим образом:

- задание в закрытой форме –2балла,
- задание в открытой форме – 2 балла,
- задание на установление правильной последовательности – 2 балла,
- задание на установление соответствия – 2 балла,
- решение компетентностно-ориентированной задачи – 6 баллов.

Максимальное количество баллов за тестирование –36 баллов.

## **8 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **8.1 Основная учебная литература**

1. Ефремов Ю. С. Квантовая механика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю. С. Ефремов. - М.; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 457 с. // Режим доступа - <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=273446>

2. Соболев С. В. Основы нерелятивистской квантовой механики [Текст]: учебное пособие. – М.: Физматлит, 2017. – 144 с.

3. Ефремов Ю. С. Статистическая физика и термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю. С. Ефремов. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 208 с. // Режим доступа - <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428682>

### **8.2 Дополнительная учебная литература**

4. Чертов А. Г. Задачник по физике [Текст] : учебное пособие / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. - 7-е изд., перераб. и доп. - М. : Физико-математической литературы, 2003. - 640 с.
5. Родионов А. А. Теоретическая физика. Квантовая механика [Текст] : учебное пособие / А. А. Родионов ; Курский государственный технический университет. - Курск : КурскГТУ, 2003. - 244 с.
6. Родионов А. А. Теоретическая физика. Квантовая механика [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. А. Родионов ; Курский государственный технический университет. - Курск : КурскГТУ, 2003. - 244 с.
7. Иродов И. Е. Задачи по квантовой физике [Текст] : учебное пособие / И. Е. Иродов. - 2-е изд., испр. - М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001. - 216 с.
8. Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики [Текст] : [учебное пособие для вузов] / Д. И. Блохинцев. - 6-е стер. изд. - М. : Наука, 1983. - 664 с.
9. Бом Д. Квантовая теория [Текст] / пер. с англ. Л. А. Шубиной ; под ред. С. В. Вонсовского. - Изд. 3-е, испр. - М. : Наука, 1965. - 727 с.
10. Физический энциклопедический словарь [Текст] / гл. ред. А. М. Прохорова ; редкол.: Д. М. Алексеев и [др.]. - Москва : Советская энциклопедия, 1983. - 928 с.
11. Шпольский Э. В. Атомная физика [Текст] : учебник / Э. В. Шпольский. - Изд. 8-е, стер. - СПб. [и др.] : Лань, 2010. - Т. 1. Введение в атомную физику. - 560 с.
12. Шпольский Э. В. Атомная физика [Текст] : учебник / Э. В. Шпольский. - Изд. 6-е, стер. - СПб. [и др.] : Лань, 2010. - Т. 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома. - 448 с.
14. Крашенинин В. И. Квантовая химия и квантовая механика в применении к задачам [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. И. Крашенинин, Е. Г. Газенаур, Л. В. Кузьмина. - Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2012. - 56 с. // Режим доступа - <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232678>

### 8.3 Перечень методических указаний

1. Квантовая механика и статистическая физика [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.В. Кузько, С.В. Соболев. – Курск: ЮЗГУ, 2015. - 42 с.
2. Квантовая механика и статистическая физика [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению практических работ для студентов направления подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: С.В. Соболев. – Курск: ЮЗГУ, 2017. - 33 с.
3. Квантовая механика и статистическая физика [Электронный ресурс]: методические рекомендации для самостоятельной работы студентов направления подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.В. Кузько. – Курск: ЮЗГУ, 2017. - 13 с.

### 8.4 Другие учебно-методические материалы

Отраслевые научно-технические журнал в библиотеке университета:  
 Нанотехнологии: наука и производство

### **9 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. <http://www.strf.ru/> - Интернет- издание «Наука и технологии России – strf.ru»
2. <http://www.nanometer.ru/> -сайт "Нанометр"
3. <http://www.rusnano.com/> - Группа РОСНАНО
4. <http://thesaurus.rusnano.com> - Словарь нанотехнологических и связанных с нанотехнологиями терминов.
5. <http://biblioclub.ru> - Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн».
6. <https://phys.org/> - новости науки, исследований и технологий (press release on-line).
7. <http://www.consultant.ru> - Официальный сайт компании «Консультант Плюс».
8. <http://window.edu.ru> - Единое окно доступа к образовательным ресурсам.

### **10 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Основными видами аудиторной работы студента при изучении дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика» являются лекции, практические и лабораторные занятия. Студент не имеет права пропускать занятия без уважительных причин.

На лекциях излагаются и разъясняются основные понятия темы, связанные с ней теоретические и практические проблемы, даются рекомендации для самостоятельной работы. В ходе лекции студент должен внимательно слушать и конспектировать материал.

Изучение наиболее важных тем или разделов дисциплины завершают лабораторные занятия, которые обеспечивают контроль подготовленности студента; закрепление учебного материала; приобретение опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, в том числе аргументации и защиты выдвигаемых положений и тезисов.

Практическому занятию предшествует самостоятельная работа студента, связанная с освоением материала, полученного на лекциях, и материалов, изложенных в учебниках и учебных пособиях, а также литературе, рекомендованной преподавателем.

По согласованию с преподавателем или по его заданию студенты готовят рефераты по отдельным темам дисциплины, выступают на занятиях с докладами. Основу докладов составляет, как правило, содержание подготовленных студентами рефератов.

Качество учебной работы студентов преподаватель оценивает по результатам тестирования, собеседования, защиты отчетов по лабораторным работам, а также по результатам докладов.

Преподаватель уже на первых занятиях объясняет студентам, какие формы обучения следует использовать при самостоятельном изучении дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика»: конспектирование учебной литературы и лекции, составление словарей понятий и терминов и т. п.

В процессе обучения преподаватели используют активные формы работы со студентами: чтение лекций, привлечение студентов к творческому процессу на лекциях, отработку студентами пропущенных лекций, участие в групповых и индивидуальных консультациях (собеседовании). Эти формы способствуют выработке у студентов умения работать с учебником и литературой. Изучение литературы составляет значительную часть самостоятельной работы студента. Это большой труд, требующий усилий и желания студента. В самом начале работы над книгой важно определить цель и направление этой работы. Прочитанное следует закрепить в памяти. Одним из приемов закрепления освоенного материала является конспектирование, без которого немислима серьезная работа над литературой. Систематическое конспектирование помогает научиться правильно, кратко и четко излагать своими словами прочитанный материал.

Самостоятельную работу следует начинать с первых занятий. От занятия к занятию нужно регулярно прочитывать конспект лекций, знакомиться с соответствующими разделами учебника, читать и конспектировать литературу по каждой теме дисциплины. Самостоятельная работа дает студентам возможность равномерно распределить нагрузку, способствует более глубокому и качественному освоению учебного материала. В случае необходимости студенты обращаются за консультацией к преподавателю по вопросам дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика» с целью освоения и закрепления компетенций.

Основная цель самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика» - закрепить теоретические знания, полученные в процессе лекционных занятий, а также сформировать практические навыки самостоятельного анализа особенностей дисциплины.

## **11 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Libreoffice операционная система Windows  
 Антивирус Касперского (или ESETNOD)  
 wxMaxima – программа для построения графиков (свободно распр. ПО).)

## **12 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и лаборатории кафедры нано-технологии и инженерной физики, оснащенные учебной мебелью: столы, стулья для обучающихся-ся; стол, стул для преподавателя; доска. Экран мобильный Draper Consul 60x60" 152x152 (3146,40), проектор BenQ MX522P. Экран настенный 150x150, мультимедийный проектор MW533. Мобиль-ный ПК ACER"Aspire 5720-102G16Mi (32032). Лабораторная установка " Электронный парамаг-нитный резонанс". Персональные компьютеры ПК S1155 Intel i3 (IntelRH67/i3-2130 3/40GHz/DDR III-4Gb/HDD SATA III 320Gb/DVD+R/RW/450Wt/клавиатура, мышь/23"LCD Samsung B2330(ZKfV)), год выпуска 2011, 15 шт.

### **13 Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья учитываются их индивидуальные психофизические особенности. Обучение инвалидов осуществляется также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).

*Для лиц с нарушением слуха* возможно предоставление учебной информации в визуальной форме (краткий конспект лекций; тексты заданий, напечатанные увеличенным шрифтом), на аудиторных занятиях допускается присутствие ассистента, а также сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков. Текущий контроль успеваемости осуществляется в письменной форме: обучающийся письменно отвечает на вопросы, письменно выполняет практические задания. Доклад (реферат) также может быть представлен в письменной форме, при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т. д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.). Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости время подготовки к ответу может быть увеличено.

*Для лиц с нарушением зрения* допускается аудиальное предоставление информации, а также использование на аудиторных занятиях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь. Текущий контроль успеваемости осуществляется в устной форме. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

*Для лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата,* на аудиторных занятиях, а также при проведении процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации могут быть предоставлены необходимые технические средства (персональный компьютер, ноутбук или другой гаджет); допускается присутствие ассистента (ассистентов), ока-

зывающего обучающимся необходимую техническую помощь (занять рабочее место, передвигаться по аудитории, прочитать задание, оформить ответ, общаться с преподавателем).

**14 Лист дополнений и изменений, внесенных в рабочую программу дисциплины**

Номер изменения	Номера страниц				Всего страниц	Дата	Основание для изменения и подпись лица, проводившего изменения
	измененных	замененных	аннулированных	новых			