

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Обнинский институт атомной энергетики –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**КАФЕДРА ОБЩЕЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ФИЗИКИ**

Одобрено на заседании  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 24.04.2023 № 23.4

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

---

**Квантовая теория. Термодинамика. Статистическая физика**  
название дисциплины

для студентов направления подготовки

---

**03.03.02 Физика**

код и название [специальности/направления подготовки]

образовательная программа

---

**Ядерно-физические технологии в медицине**

Форма обучения: очная

**г. Обнинск 2023 г.**

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

### **Цель изучения дисциплины:**

Формирование у студентов базовых теоретических знаний фундаментальных разделов квантовой теории.

### **Задачи изучения дисциплины:**

- получение студентами знаний об основных законах соответствующих разделов физики
- получение студентами знаний о применении фундаментальных законов физики при решении практических задач.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП СПЕЦИАЛИТЕТА**

Дисциплина реализуется в рамках обязательной части.

Для успешного освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения дисциплин Математический анализ, Аналитическая геометрия, Общая физика (механика), Общая и неорганическая химия, Начертательная геометрия, Общая физика (молекулярная физика и основы статистической термодинамики), Линейная алгебра, Дифференциальные и интегральные уравнения, Векторный и тензорный анализ, Теория функций комплексного переменного, Медицинская биохимия, Общая физика (волны, оптика и атомная физика), Теория вероятностей и математическая статистика, Численные методы, Ядерная физика, Уравнения математической физики, Физика атомного ядра и элементарных частиц, Производственная практика: технологическая.,

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: «Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы».

Дисциплина изучается на 3 и 4 курсах в 6 и 7 семестрах.

## **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

В результате освоения ООП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

<b>Коды компетенций</b>	<b>Результаты освоения ООП Содержание компетенций*</b>	<b>Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**</b>
ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	З-ОПК-1 знать фундаментальные основы, полученные в области естественных и математических наук. У-ОПК-1 уметь использовать на практике базовые знания, полученные в области естественных и математических наук; применять для анализа и обработки результатов физических экспериментов. В-ОПК-1 владеть навыками обобщения, синтеза и анализа базовых знаний, полученных в области естественных и математических наук, владеть научным мировоззрением

ОПК-3	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	З-ОПК-3 знать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности У-ОПК-3 уметь выбирать и использовать современные информационные технологии и программные средства для решения задач профессиональной деятельности В-ОПК-3 владеть современными информационными технологиями и программными средствами при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности
-------	---	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное и трудовое воспитание	- формирование культуры исследовательской и инженерной деятельности (В16)	Использование воспитательного потенциала по дисциплинам, предусматривающим курсовые работы (проекты) для формирования навыков владения эвристическими методами поиска и выбора технических решений в условиях неопределенности через специальные задания с использованием программных пакетов.
Профессиональное воспитание	- становление и развитие мировоззрения, обеспечивающего радиационную безопасность при медицинском использовании источников ионизирующего и неионизирующего излучения (В31)	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин «Основы и применение синхротронного излучения», «Физика биологического действия радиации», «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений», «Микробиология, вирусология, иммунология», «Радиобиология» и всех видов практик – ознакомительной, научно-исследовательской, педагогической, преддипломной для: - формирования культуры работы с приборами дозиметрического контроля, радиационной и экологической безопасности посредством тематического акцентирования в содержании дисциплин и учебных заданий, подготовки эссе, рефератов, дискуссий по вопросам биобезопасности 2. Использование воспитательного потенциала дисциплин «Основы биоэтики и биологического права», «Медицинские установки и детекторы излучений», «Рентгеновская

	компьютерная томография», «Основы МРТ», «Основы ПЭТ», «Основы интроскопии», «Радиационная биофизика», и всех видов практик для: - формирования культуры радиационной безопасности, в том числе при получении практических навыков посредством тематического акцентирования в содержании дисциплин и учебных заданий, подготовки эссе, рефератов, дискуссий, а также в ходе практической работы с терапевтическим и диагностическим оборудованием. 4. Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин и всех видов практик для: - формирования этических основ проведения экспериментов с использованием лабораторных животных посредством обсуждения техники безопасной работы с высокотехнологичным экспериментальным оборудованием, высокопроизводительной вычислительной техникой и с живыми системами.
--	---

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

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

### **5.1. Объем дисциплины по видам учебных занятий (в часах)**

Объем дисциплины	Всего часов	
	6 семестр	7 семестр
Общая трудоемкость дисциплины	72	108
Контактная* работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего)	48	32
Аудиторная работа (всего**):	48	32
<i>в том числе:</i>		
лекции	32	16
семинары, практические занятия	16	16
лабораторные работы		
Внеаудиторная работа (всего**):	24	40
<i>в том числе, индивидуальная работа обучающихся с преподавателем***:</i>	0	0
курсовое проектирование	0	0
групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие	0	0

групповую или индивидуальную работу обучающихся с преподавателем (необходимо указать только конкретный вид учебных занятий)		
творческая работа (эссе)	0	0
Самостоятельная работа обучающихся** (всего)	24	40
Вид промежуточной аттестации обучающегося (экзамен)	-	36

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

**4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)**

*Для очной формы обучения*

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			СРО
		Аудиторные учебные занятия	Лек	Сем/Пр	
1.	<b>Основные постулаты квантовой теории. Математический аппарат квантовой теории.</b>	14	7		8
1.1.	Гильбертово пространство и операторы в квантовой теории.	6	3		4
1.2.	Уравнение Шредингера. Простейшие задачи квантовой теории.	8	4		4
2.	<b>Импульсное представление. Момент импульса.</b>	22	11		10
2.1.	Различные представления в квантовой механике.	8	4		4
2.2.	Движение в центральном поле. Момент импульса.	6	4		4
2.3.	Спин частицы. Оператор спина. Системы тождественных частиц.	8	3		2
3.	<b>Приближённые методы в квантовой теории. Теория рассеяния. Квантование поля.</b>	14	14		1
3.1.	Вариационный метод. Адиабатическое и квазиклассическое приближения	8	8		1
3.2.	Теория возмущений	6	6		0
4.	<b>Квантовая теория рассеяния.</b>	12	12		2
4.1	Амплитуда и сечение рассеяния.	6	6		1
4.2	Приближенные методы вычисления амплитуды рассеяния. Неупругое рассеяние	6	6		1
5.	Метод вторичного квантования	8	8		1
5.1.	Квантование электромагнитного поля.	3	3		0

5.2.	Взаимодействие квантованного электромагнитного поля с заряженными частицами.	3	3		1
5.3	Дипольное излучение.	2	2		0
1.	<b>Термодинамика</b>	8	8		20
1.1.	Математическое введение.	1	1		2
1.2.	Основные понятия и исходные положения термодинамики.	1	1		2
1.3	Общие законы термодинамики. Первое начало.	1	1		2
1.4	Второе начало термодинамики	1	1		2
1.5	Третье начало термодинамики	1	1		2
1.6	Методы термодинамики	1	1		2
1.7	Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем	1	1		2
1.8	Системы с переменным числом частиц	1	1		2
1.9	Фазовые переходы	1	1		2
2.	<b>Статистическая физика</b>	8	8		20
2.1.	Элементы теории вероятности.	1	1		2
2.2.	Средние значения. Флуктуации.	1	1		2
2.3.	Фазовое пространство. Теорема Лиувилля	1	1		2
2.4.	Число состояний и плотность состояний.	1	1		2
2.5.	Микроканоническое и каноническое распределение.	1	1		2
2.6.	Распределение Максвелла.	1	1		2
2.7.	Нахождение доли молекул, обладающих определенными свойствами.	1	1		2
2.8.	Распределение Больцмана.	1	1		2
2.9.	Квантовые функции распределения	1	1		2
<b>Всего:</b>		48	32		64

Прим.: Лек – лекции, Сем/Пр – семинары, практические занятия, Лаб – лабораторные занятия, СРО – самостоятельная работа обучающихся

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

##### Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Основные постулаты квантовой теории. Математический аппарат квантовой теории.	
1.1.	Гильбертово пространство и операторы в квантовой теории.	Гильбертово пространство. Скалярное произведение векторов. Условие полноты набора векторов. Различные виды линейных операторов. Функции от операторов. Самосопряженные (эрмитовы) операторы. Собственные значения и собственные функции линейных операторов. Теорема о действительности собственных значений эрмитового оператора. Теорема об

		ортогональности собственных функций эрмитового оператора. Теорема о полноте системы ортонормированных собственных функций эрмитового оператора [1-3].
1.2.	Уравнение Шредингера. Простейшие задачи квантовой теории.	Уравнение Шредингера. Оператор эволюции. Стандартные условия для волновой функции. Сохранение нормировки. Уравнение непрерывности. Вектор плотности потока вероятности. Изменение средних физических величин со временем. Интегралы движения. Стационарные состояния, основные свойства таких состояний. Классический гармонический осциллятор. Квантовый осциллятор. Решение уравнения Шредингера для одномерного квантового осциллятора. Анализ результатов. Одномерная прямоугольная потенциальная яма конечной глубины (стационарные состояния). Трехмерная прямоугольная потенциальная яма. [1-3]
2.	Импульсное представление. Момент импульса.	
2.1.	Различные представления в квантовой механике.	Координатное представление в квантовой механике. Преобразование волновых функций и операторов при переходе к импульсному представлению. Использование других представлений в квантовой механике; энергетическое представление. Эквивалентные представления. Обозначения Дирака вектора состояния. Запись волновых функций как скалярное произведение векторов состояний. [1-3]
2.2.	Движение в центральном поле. Момент импульса.	Уравнение Шредингера в сферической системе координат. Разделение переменных для центрально-симметричного взаимодействия частиц. Оператор момента импульса. Коммутационные соотношения. Собственные значения и собственные функции оператора проекции момента.. Обобщение на произвольные моменты. Решение радиального уравнения для кулоновского поля. [1-3]
2.3.	Спин частицы. Оператор спина. Системы тождественных частиц.	Оператор спина электрона. Матрицы Паули, коммутационные свойства матриц. Спиновая волновая функция. Принцип тождественности частиц. Оператор перестановки частиц и его собственные значения. Симметричная и антисимметрическая волновые функции. Ферми- и бозе-частицы. Принцип Паули. Атом гелия. [1-3]
3.	Приближённые методы в квантовой теории. Теория рассеяния. Кvantование поля.	
3.1.	Вариационный метод. Адиабатическое и квазиклассическое приближения	Эквивалентность уравнения Шредингера и условия экстремальности функционала. Вычисление энергий и волновых функций вариационным методом. Разделение квантовой системы на быструю и медленную подсистемы. Применение адиабатического приближения для описания молекул. Колебательное и вращательное

		движение ядер в молекуле. Вывод из уравнения Шредингера уравнения для фазовой функции. Приближенные уравнения для фазовой функции. Волновая функция для стационарного состояния в одномерном случае. Критерии применимости квазиклассического приближения. [1-3]
3.2.	Теория возмущений	Возмущения не зависящие от времени. Получение поправок к волновой функции и энергии. Оператор возмущения, зависящий от времени. Уравнения для амплитуд вероятностей перехода для произвольного возмущения. Вероятность перехода в единицу времени для малого возмущения. Переходы в квантовой системе между дискретными уровнями при гармоническом возмущении. Переходы в состояния непрерывного спектра. [1-3]
4.	Квантовая теория рассеяния.	
4.1.	Амплитуда и сечение рассеяния	Определение амплитуды и сечения рассеяния в квантовой теории. Вывод функции Грина для свободного движения частицы. Запись уравнения Шредингера в виде интегрального уравнения – уравнения Липпмана – Швингера. [1-3]
4.2.	Приближенные методы вычисления амплитуды рассеяния. Неупругое рассеяние	Борновское приближение для волновой функции и амплитуды рассеяния, критерий применимости борновского приближения. Пример использования борновского приближения – расчет сечения упругого сечения электронов на атомах. Метод парциальных волн в теории рассеяния. Неупругое рассеяние бесструктурной частицы на сложной системе. Открытые и закрытые каналы рассеяния. Функция Грина и уравнение Липпмана – Швингера. [1-3]
5.	Метод вторичного квантования	
5.1.	Квантование электромагнитного поля.	Уравнения Максвелла в гамильтоновой форме. Квантование свободного электромагнитного поля. Операторы рождения и уничтожения для квантов электромагнитного поля. Оператор Гамильтона для свободного электромагнитного поля. [1-3]
5.2.	Взаимодействие квантованного электромагнитного поля с заряженными частицами.	Взаимодействие электромагнитного поля с заряженными частицами., оператор Гамильтона. Матричные элементы для оператора взаимодействия. Вероятности индуцированного и спонтанного излучения. [1-3]
5.3.	Дипольное излучение.	Оператор взаимодействия электромагнитного поля с атомной системой в дипольном приближении. Вычисление вероятности излучения в атомной системе в дипольном приближении. [1-3]
1.	<b>Название раздела 1 Термодинамика</b>	
1.1.	Введение. Математический аппарат термодинамики.	Нулевое начало термодинамики. Связь термодинамических величин и приемы их преобразования. Якобианы преобразований.

1.2.	Основные понятия и исходные положения термодинамики	Краткий очерк развития термодинамики и МКТ. Термодинамика как наука и ее место среди естественных наук. Предмет термодинамики. Термодинамические системы. Исходные положения ТД. Гомогенные и гетерогенные системы.
1.3	Общие законы термодинамики. Первое начало.	Объективный характер законов термодинамики. Внутренняя энергия. Работа и теплота. Термические и калорическое уравнения состояния. Уравнение первого начала. Теплоемкость. Скрытые теплоты.
1.4	Второе начало термодинамики	Энтропия. Уравнение второго начала. Круговые процессы. Цикл Карно и теоремы Карно. Тепловые машины. Пределы применимости второго начала.
1.5	Третье начало термодинамики	Принцип Нернста. Формулировка третьего начала. Следствия третьего начала.
1.6	Методы термодинамики	Метод круговых процессов. Метод термодинамических потенциалов. Соотношения Максвелла.
1.7	Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем	Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Правило фаз Гиббса. Принцип Ле Шателье-Брауна.
1.8	Системы с переменным числом частиц	Основное уравнение термодинамики для системы с переменным количеством вещества. Химический потенциал.
1.9	Фазовые переходы	Равновесие фаз. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.
2.	<b>Название раздела 2 Статистическая физика</b>	
2.1.	Элементы теории вероятности.	Необходимые сведения из теории вероятности. Метод нахождения вероятности события, функции распределения величины.
2.2.	Средние значения. Флуктуации.	Нахождение среднего значения, дисперсии и флуктуации случайных величин.
2.3	Фазовое пространство. Теорема Лиувилля.	Фазовое пространство. Микроскопическое описание состояния квантовой системы. Теорема Лиувилля. Следствие из теоремы Лиувилля
2.4	Число состояний и плотность состояний.	Энтропия. Уравнение второго начала. Круговые процессы. Цикл Карно и теоремы Карно. Тепловые машины. Пределы применимости второго начала.
2.5	Микроканоническое и каноническое распределение.	Классические функции распределения. Микроканоническое и каноническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Статистическая температура.
2.6	Распределение Максвелла	Многообразие вариантов распределения Максвелла и их взаимосвязь. Распределение Максвелла по импульсам. Распределение Максвелла по скоростям. Распределение Максвелла по энергиям. Распределение Максвелла в приведенном виде. Средние и наивероятнейшие значения параметров термодинамической системы.
2.7	Нахождение доли молекул, обладающих определенными свойствами.	Метод вычисления числа частиц, обладающих определенными свойствами. Погрешность вычислений. Соотношения скоростей.
2.8	Распределение Больцмана.	Вывод барометрической формулы. Распределение Максвелла – Больцмана. Дискретное распределение Больцмана.
2.9	Квантовые функции распределения.	Идеальный одноатомный квантовый газ. Распределение Ферми-Дирака. Распределение Бозе-Эйнштейна. Область применения квантовых функций распределения.

## Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Основные постулаты квантовой теории. Математический аппарат квантовой теории.	
1.1.	Гильбертово пространство и операторы в квантовой теории.	Различные виды линейных операторов. Функции от операторов. Самосопряженные (эрмитовы) операторы. Собственные значения и собственные функции линейных операторов. Вычисление собственных значений и собственных функций эрмитового оператора. [1-5]
1.2.	Уравнение Шредингера. Простейшие задачи квантовой теории.	Вычисление средних физических величин и вероятностей измерения этих величин. Интегралы движения. Стационарные состояния, основные свойства таких состояний. Квантовый гармонический осциллятор. Одномерная прямоугольная потенциальная яма конечной глубины (стационарные состояния). Трехмерная прямоугольная потенциальная яма. [1-5]
2.	Импульсное представление. Момент импульса.	
2.1.	Различные представления в квантовой механике.	Преобразование волновых функций и операторов при переходе к импульсному представлению. Преобразование операторов, вычисление явного вида операторов в импульсном представлении. Использование других представлений в квантовой механике; энергетическое представление. [1-5]
2.2.	Движение в центральном поле. Момент импульса.	Оператор момента импульса. Коммутационные соотношения. Собственные значения и собственные функции оператора проекции момента.. Решение радиального уравнения для различных центральных полей. [1-5]
2.3.	Спин частицы. Оператор спина. Системы тождественных частиц.	Оператор спина электрона. Матрицы Паули, коммутационные свойства матриц. Спиновая волновая функция. Симметричная и антисимметричная волновые функции. Принцип Паули. Атом гелия, волновые функции и энергии. [1-5]
3.	Приближённые методы в квантовой теории. Теория рассеяния. Кvantование поля.	
3.1.	Вариационный метод. Адиабатическое и квазиклассическое приближения	Вычисление энергий и волновых функций вариационным методом. Применение адиабатического приближения для описания молекул. Колебательное и вращательное движение ядер в молекуле. Приближенные уравнения для фазовой функции. Волновая функция для стационарного состояния в одномерном случае. Критерий применимости квазиклассического приближения. [1-5]
3.2.	Теория возмущений	Возмущения не зависящие от времени. Получение поправок к волновой функции и энергии. Оператор возмущения, зависящий от времени. Уравнения для амплитуд вероятностей перехода для возмущения зависящего от времени. Вероятность перехода в единицу времени для малого возмущения. Переходы в квантовой системе между различными состояниями. [1-5]
4.	Квантовая теория рассеяния.	
4.1.	Амплитуда и сечение рассеяния	Вычисление амплитуды и сечения рассеяния вдоль различных потенциалов рассеяния. Использование уравнения Шредингера в виде интегрального уравнения –

		уравнения Липпмана – Швингера для исследования волновой функции задачи рассеяния. [1-5]
4.2.	Приближенные методы вычисления амплитуды рассеяния. Неупругое рассеяние	Борновское приближение для волновой функции и амплитуды рассеяния, вычисление амплитуды и сечения рассеяния для различных потенциалов взаимодействия. Метод парциальных волн в теории рассеяния. Неупругое рассеяние бесструктурной частицы на сложной системе. [1-5]
5.	Метод вторичного квантования	
5.1.	Квантование электромагнитного поля.	Операторы рождения и уничтожения для квантов электромагнитного поля. Оператор Гамильтона для свободного электромагнитного поля. [1-5]
5.2.	Взаимодействие квантованного электромагнитного поля с заряженными частицами.	Матричные элементы для оператора взаимодействия. Вычисление вероятностей индуцированного и спонтанного излучения для различных квантовых систем. [1-5]
5.3.	Дипольное излучение.	Оператор взаимодействия электромагнитного поля с атомной системой в дипольном приближении. Вычисление вероятности дипольного излучения в атомных и молекулярных системах в дипольном приближении. [1-5]
1.	<b>Название раздела 1 Термодинамика</b>	
1.1.	Математическое введение.	Приемы преобразования термодинамических величин. Якобианы преобразований.
1.2.	Первое начало термодинамики.	Внутренняя энергия. Работа и теплота. Термические и калорическое уравнения состояния. Теплоемкость. Скрытые теплоты.
1.3.	Второе начало термодинамики	Энтропия. Круговые процессы. Цикл Карно. Тепловые машины. КПД.
1.4.	Третье начало термодинамики	Низкие температуры. Теорема Нернста. Эффект Джоуля-Томсона.
1.5.	Методы термодинамики	Применение метода циклов и метода термодинамических потенциалов к решению практических задач. Соотношения Максвелла.
1.6.	Равновесие и устойчивость термодинамических систем	Условия термодинамического равновесия. Принцип Ле Шателье-Брауна.
1.7.	Системы с переменным числом частиц	Системы с переменным количеством вещества. Химический потенциал.
1.8.	Фазовые переходы	Равновесие фаз. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиса. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.
2.	<b>Название раздела 2 Статистическая физика</b>	
2.1.	Элементы теории вероятности.	Функция распределения вероятности. Плотность вероятности. Закон сложения вероятностей для дискретных величин. Закон сложения вероятностей для непрерывного распределения. Закон умножения вероятностей. Биноминальное распределение. Распределение Гаусса.
2.2.	Средние значения. Флуктуации.	Среднее Значение. дисперсия. Флуктуация.
2.3.	Фазовое пространство. Теорема Лиувилля.	Фазовое пространство. Фазовая траектория. Теорема Лиувилля.

2.4.	Число состояний и плотность состояний.	Числа и плотности состояний, доступных макроскопической системе
2.5.	Распределение Максвелла	Распределение Максвелла по импульсам, по скоростям и по энергиям.
2.6.	Нахождение доли молекул, обладающих определенными свойствами.	Функции распределения Максвелла в приведенном виде. Доли молекул, обладающих определенными свойствами.
2.7.	Распределение Больцмана.	Распределение Больцмана. Барометрические формулы.
2.8.	Квантовые функции распределения.	Распределение Больцмана. Распределение Ферми-Дирака. Распределение Бозе-Эйнштейна.

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

1. В.В. Балашов. Курс квантовой механики. Москва-Ижевск, НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001 г. (есть 30 экз. в библиотеке ИАТЕ)

2. И.В. Савельев. Основы теоретической физики. Том 2. Квантовая механика. М., Наука, Физматлит, 2006 г. (есть 7 экз. в библиотеке ИАТЕ)

3. И.Е. Иродов. Задачи по квантовой физике. М., Высшая школа, 2004. (есть 45 экз в библиотеке ИАТЕ)

4. В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган. Задачи по квантовой механике. - М.: Наука, 1981. (Есть на кафедре ОиСФ в электронном виде)

### Задания для самостоятельной работы по термодинамике:

1. Показать, являются ли следующие выражения полными дифференциалами:

a)  $dB = (x + z)dx + (y + z)dy + (x + y)dz$ ; б)  $dG = x^2dy - y^2dx$

2. Получить с помощью якобианов известное в термодинамике соотношение,

$$(\partial U / \partial V)_T = T(\partial P / \partial T)_V - P$$

3. Вычислите свободную энергию  $F$  и термодинамический потенциал  $G$  для идеального газа, у которого теплоемкость  $C_V = a + bT$  ( $a$  и  $b$  – некоторые постоянные).

4. Вычислите работу, совершенную киломолем газа при изотермическом расширении от объема  $V_1$  до объема  $V_2$ , если состояние газа описывается: а) уравнением Клапейрона-Менделеева; б) уравнением Ван-дер-Ваальса.

5. Найдите уравнение адиабаты для газа Ван-дер-Ваальса в переменных  $V$  и  $T$ .

6. Найдите работу идеального газа для кругового процесса состоящего из двух изохорических и двух изотермических процессов. Последовательные состояния описываются следующими параметрами: 1)  $T_1, V_1$ ; 2)  $T_2, V_1$ ; 3)  $T_2, V_2$ ; 4)  $T_1, V_2$ ; 5)  $T_1, V_1$ .

7. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу  $8 \cdot 10^4$  Дж. Температура терmostатов соответственно равна 100 и 0°C. Найдите: а) количество теплоты, получаемой рабочим телом за один цикл от нагревателя; б) количество теплоты, передаваемой за каждый цикл холодильнику; в) КПД цикла.

8. Получите формулу для КПД цикла Ленуара, состоящего из изохорического, адиабатического и изобарического процессов. Параметром цикла является степень повышения давления  $\delta = P_2/P_1$

9. Давление  $p$  и внутренняя энергия  $U$  идеального электронного газа, занимающего объем  $V$ , связаны соотношением  $pV=2/3U$ . Пользуясь этим, найти зависимость «нулевой энергии» электронного газа от концентрации электронов.

### Задания для самостоятельной работы по статистической физике:

1.  $dG = x^2dy - y^2dx$ . Определить если  $\langle x^2 \rangle$  и  $\langle (\Delta x)^2 \rangle$ , если  $dW(x) = A\exp(-\alpha x)dx$

2. Начертить в пространстве  $(p,q)$  фазовую траекторию частицы, движущейся в плоской потенциальной яме и испытывающей неупругое столкновение со стенками, перпендикулярно к ним.

3. Определить и изобразить фазовую траекторию для частицы массой  $m$  с электрическим зарядом  $-e$ , движущейся под действием кулоновской силы притяжения, к неподвижному заряду  $. Начальное расстояние между зарядами  $r_0$  и начальная скорость частицы  $V_0$ .$

4. Две классические частицы с массами  $m_1$  и  $m_2$  находятся в прямоугольной одномерной яме шириной  $a$ . Найти  $\Gamma(E)$ .
5. Газ состоит из молекул массы  $m$  и находится при температуре  $T$ . С помощью распределения Максвелла найти распределение молекул по энергиям. Определить наиболее вероятное и среднее значение кинетической энергии.
6. Какая доля молекул водорода обладает скоростями большими, чем вторая космическая скорость для Луны? Температура газа 300 К. Вторая космическая скорость Луны равна  $2,4 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ .
7. Сравнить число молекул кислорода  $O_2$  при  $27^\circ\text{C}$ , имеющих скорости  $V_x$  от 500 до 501 м/с, с числом молекул, имеющих модуль скорости от 500 м/с до 501 м/с.
8. Определить, какая часть молекул имеет модуль скорости меньше средней скорости.
9. Найти связь между давлением  $p$ , объемом  $V$  и полной энергией  $E$  идеального газа, подчиняющейся статистике Бозе-Эйнштейна.

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

### **6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка	Наименование оценочного средства
<b>Текущий контроль, 6 семестр</b>			
1.	Основные постулаты квантовой теории. Математический аппарат квантовой теории.	ОПК-1, ОПК-3	Коллоквиум
2.	Импульсное представление. Момент импульса.	ОПК-1, ОПК-3	Контрольная работа
3.	Приближённые методы в квантовой теории.	ОПК-1, ОПК-3	Коллоквиум
4.	Квантовая теория рассеяния	ОПК-1, ОПК-3	Контрольная работа
5.	Метод вторичного квантования	ОПК-1, ОПК-3	Контрольная работа
<b>Промежуточный контроль, 6 семестр</b>			
	зачет	ОПК-1, ОПК-3	
<b>Текущий контроль, 7 семестр</b>			
6.	Математическое введение.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
7.	Основные понятия и исходные положения термодинамики.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
8.	Общие законы термодинамики. Первое начало.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
9.	Второе начало термодинамики	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
10.	Третье начало термодинамики	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
11.	Методы термодинамики	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
12.	Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
13.	Системы с переменным числом частиц	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
14.	Фазовые переходы	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
15.	Элементы теории вероятности.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
16.	Средние значения. Флуктуации.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету

17.	Фазовое пространство. Теорема Лиувилля.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
18.	Число состояний и плотность состояний.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
19.	Микроканоническое и каноническое распределение.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
20.	Распределение Максвелла.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
21.	Нахождение доли молекул, обладающих определенными свойствами.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
22.	Распределение Больцмана.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
23.	Квантовые функции распределения.	ОПК-1, ОПК-3	ДЗ, вопросы к зачету
<b>Промежуточный контроль, 7 семестр</b>			
	экзамен		
Всего:			

## **6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы**

### **6.2.1. а) Экзамен, типовые вопросы - образец:**

1. Основные этапы развития статистической физики
2. Элементы теории вероятности функция распределения.
3. Закон сложения вероятностей
4. Закон умножения вероятностей.
5. Средние значения.
6. Основные понятия и принципы статистической физики.
7. Объект, предмет и методы статистической физики.
8. Микроскопическое состояние.
9. Фазовое пространство.
10. Микроскопическое описание состояния квантовой системы.
11. Состояние статистического равновесия.
12. Теорема Лиувилля.
13. Зависимость функции распределения от энергии системы.
14. Микроканоническое распределение.
15. Каноническое распределение.
16. Число квантовых состояний.
17. Статистический вес и энтропия.
18. Каноническое распределение Гиббса.
19. Большое каноническое распределение Гиббса.
20. Статистическая температура.
21. Энтропия.
22. Классическое каноническое распределение Гиббса.
23. Квазиклассический идеальный газ.
24. Распределение Максвелла-Больцмана.
25. Распределение Максвелла по импульсам.
26. Распределение Максвелла по скоростям.
27. Распределение Максвелла по энергиям.
1. Приемы преобразования термодинамических величин
2. Свойства полного дифференциала
3. Нахождение интегрирующего множителя
4. Якобиан преобразований и его свойства

5. Термодинамические коэффициенты.
6. Исходные положения и основы термодинамики
7. Основные понятия и законы термодинамики. Термодинамические системы.
8. Объект, предмет и методы термодинамики
9. Энтропия
10. Первое начало термодинамики
11. Термические и калорическое уравнения
12. Второе начало термодинамики
13. Теоремы Карно и КПД.
14. Границы применимости второго начала термодинамики
15. Тепловые машины
16. Расширение идеального газа в пустоту
17. Метод термодинамических потенциалов
18. Условия равновесного состояния изолированной системы
19. Условие равновесия гетерогенной системы
20. Правило фаз Гиббса
21. Условие устойчивости равновесия однофазной системы
22. Условие равновесия двухфазной однокомпонентной системы
23. Кривые равновесия фаз и фазовые переходы
24. Фазовые переходы первого рода
25. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса
26. Фазовые переходы второго рода
27. Уравнение Эренфеста
28. Состояние термодинамического равновесия. Уравнения состояния.
29. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия. Количество теплоты и работа.
30. Энтропия и абсолютная температура.
31. Основное уравнение термодинамики для квазистатических процессов.
32. Закон возрастания энтропии. Неравенство Клаузиуса.
33. Третье начало термодинамики. Недостижимость абсолютного нуля температур.
34. Метод циклов.
35. Системы с переменным числом частиц.
36. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости.
37. Условия равновесия систем во внешнем поле.
38. Условия равновесия гетерогенной системы. Правило фаз Гиббса.
39. Фазовые переходы. Критическое состояние.

#### **6) Критерии оценивания компетенций (результатов):**

Оценка	Критерии оценки
Отлично 36–40	<p><b>Студент должен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала;</li> <li>– исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал;</li> <li>– правильно формулировать определения;</li> <li>– продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой;</li> <li>– уметь сделать выводы по излагаемому материалу.</li> </ul>
Хорошо 30–35	<p><b>Студент должен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– продемонстрировать достаточно полное знание программного материала;</li> <li>– продемонстрировать знание основных теоретических понятий; достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал;</li> <li>– продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.</li> </ul>
Удовлетворительно 24–29	<p><b>Студент должен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– продемонстрировать общее знание изучаемого материала;</li> <li>– показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;</li> <li>– уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li> <li>– знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.</li> </ul>
Неудовлетворительно 23 и меньше	<p><b>Студент демонстрирует:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– незнание значительной части программного материала;</li> <li>– не владение понятийным аппаратом дисциплины;</li> <li>– существенные ошибки при изложении учебного материала;</li> <li>– неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li> <li>– неумение делать выводы по излагаемому материалу.</li> </ul>

### в) Описание шкалы оценивания:

Рейтинговый балл по дисциплине за экзамен	Оценка по 5-балльной системе
36 – 40	Отлично
30 – 35	Хорошо
24 – 29	Удовлетворительно
<23	Неудовлетворительно

#### 6.2.2. а) Коллоквиум, типовые вопросы - образец:

Билет

##### 1. Движение частицы в центрально - симметричном поле.

Разделение угловых и радиальных переменных в сферической системе координат в уравнении Шредингера. Разделение угловых переменных, решение уравнений для волновых функций, зависящих от азимутального и полярного углов. Орбитальное квантовое число и магнитное квантовое число. Преобразование радиального уравнения. Исследование поведения радиальной волновой функции при малых и больших расстояниях от силового центра. Состояния дискретного и непрерывного спектра.

2. Частица массой  $m$  находится в сферически симметричной потенциальной яме, где  $U(r)=0$  при  $r < r_0$ ,  $U(r)=\infty$  при  $r > r_0$ ,  $r_0$  - радиус ямы. Найти наиболее вероятное значение  $r_{\text{вер}}$  для основного состояния. При решении уравнения Шредингера воспользоваться подстановкой  $\Psi(r)=u(r)/r$ .

Билет

Коллоквиум по курсу «Квантовая теория» для групп ФИЗ и МФ, 4 курс, 7-й семестр.

##### 1. Теория возмущений для нестационарного уравнения Шредингера

Оператор возмущения, зависящий от времени. Постановка задачи. Вероятность перехода. Уравнения для амплитуд вероятностей перехода для произвольного возмущения. Первый порядок по оператору возмущений. Вычисление и анализ вероятности перехода для постоянного возмущения. Вероятность перехода в единицу времени.

2. Две частицы с сильно различающимися массами  $M \gg m$  находятся в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $L$ . Частицы взаимодействуют друг с другом как непроницаемые и абсолютно упругие, т.е. энергия взаимодействия имеет вид

$$U_{\text{вз}}(x_1, x_2) = 0, \text{ если } |x_1 - x_2| > \epsilon, \text{ где } \epsilon \ll L.$$

$$U_{\text{вз}}(x_1, x_2) = \infty, \text{ если } |x_1 - x_2| < \epsilon, \quad x_1, x_2 \text{ -- координаты частиц.}$$

Решить уравнение для быстрой подсистемы, записать уравнение для медленной подсистемы. Как приближенно можно было бы решать уравнение для медленной подсистемы?

Билет

Коллоквиум по курсу «Квантовая теория» для групп ФИЗ и МФ, 4 курс, 7-й семестр.

##### 1. Вариационный метод

Эквивалентность уравнения Шредингера и условия экстремальности функционала. Применение метода неопределенных множителей Лагранжа к функционалу от волновой функции.

Вычисление энергий и волновых функций вариационным методом. Использование приближенного варианта вариационного метода – метод Ритца.

2. На заряженный линейный осциллятор наложено однородное электрическое поле  $E$ , направленное вдоль оси колебаний. Рассматривая действие электрического поля как возмущение, рассчитать в первом порядке теории возмущений сдвиг энергетических уровней осциллятора. Сравнить результат с точными значениями энергии.

Билет

Коллоквиум по курсу «Квантовая теория» для групп ФИЗ и МФ, 4 курс, 7-й семестр.

**1. Адиабатическое приближение.**

Постановка задачи, разделение физической системы на две подсистемы по быстроте движения. Разделение квантовой системы на быструю и медленную подсистемы. Вывод уравнений для быстрой и медленной подсистем. Применение адиабатического приближения для описания молекул.

2. Для частицы, находящейся в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $a$ , найти в первом порядке теории возмущений смещение энергетических уровней под действием возмущения вида:  $U(x)=U_0$ , если  $b < x < a-x$ ,  $U(x)=0$ , если  $0 < x < b$  или  $a-b < x < b$ . Получить условие применимости полученного результата.

Билет

Коллоквиум по курсу «Квантовая теория» для групп ФИЗ и МФ, 4 курс, 7-й семестр.

**1. Колебательное и вращательное движение ядер в молекуле.**

Расчет энергии электронной оболочки для молекулы водорода. Анализ физических процессов, приводящих к появлению связи атомов в молекуле. Колебательное и вращательное движение ядер в молекуле. Оценка соотношений различных энергий в молекулах.

2. Найти в низшем неисчезающем порядке теории возмущений поправки к энергетическим уровням линейного гармонического осциллятора, обусловленные возмущением вида  $V(x)=\alpha x^3$ . Получить условие малости поправок.

**б) Критерии оценивания компетенций (результатов):**

- уровень освоения обучающимся материала, предусмотренного учебной программой;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении заданий и задач;
- обоснованность, четкость, краткость изложения ответа.

**Описание шкалы оценивания**

**Отметка «отлично»** (в баллах от 27 до 30) ставится, если:

- изученный материал изложен полно, определения даны верно;
- ответ показывает понимание материала;
- обучающийся может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, не только по учебнику и конспекту, но и самостоятельно составленные.

**Отметка «хорошо»** (в баллах от 22 до 26) ставится, если:

- изученный материал изложен достаточно полно;
- при ответе допускаются ошибки, заминки, которые обучающийся в состоянии исправить самостоятельно при наводящих вопросах;
- обучающийся затрудняется с ответами на 1-2 дополнительных вопроса.

**Отметка «удовлетворительно»** (в баллах от 18 до 21) ставится, если:

- материал изложен неполно, с неточностями в определении понятий или формулировке определений;
- материал излагается непоследовательно;
- обучающийся не может достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры;
- на 50% дополнительных вопросов даны неверные ответы.

**Отметка «неудовлетворительно»** (в баллах от 0 до 17) ставится, если:

- при ответе обнаруживается полное незнание и непонимание изучаемого материала;

- материал излагается неуверенно, беспорядочно;
- даны неверные ответы более чем на 50% дополнительных вопросов.

**в) Описание шкалы оценивания:**

Рейтинговый балл по дисциплине за коллоквиум	Оценка по 5-балльной системе
27 – 30	Отлично
22 – 26	Хорошо
18 – 21	Удовлетворительно
<17	Неудовлетворительно

**6.2.3. а) Контрольные работы, типовые задания:**

1. Правило фаз Гиббса состоит в том, что

- а) при равновесии двух фаз их химические потенциалы равны;
- б) в системе, состоящей из  $n$  независимых компонент, может одновременно находиться в равновесии не более  $n+2$  фазы;
- в) число переменных, которое можно изменить, не нарушая равновесия, равно числу степеней свободы.

2. При фазовом переходе первого рода скачком меняется:

- а) давление; б) объем; в) температура; г) теплоемкость.

3. Определить теплоемкость идеального газа в процессе  $p^{1/2} V = \text{const}$ .

4. Показать, что КПД теплового двигателя не может превысить КПД цикла Карно, работающего в том же диапазоне температур.

1. Теорема Лиувилля состоит в том, что

- а) при движении изобразительной точки в фазовом пространстве вдоль фазовой траектории элемент фазового пространства с течением времени будет изменяться произвольным образом, но величина его при этом остается неизменной;
- б) при движении точки в пространстве вдоль траектории элемент фазового пространства с течением времени будет изменяться произвольным образом, но величина его при этом остается неизменной;
- в) при движении изобразительной точки в фазовом пространстве вдоль фазовой траектории элемент фазового пространства с течением времени будет изменяться произвольным образом, но величина его при этом изменяется произвольным образом.

2. Средний квадрат отклонения случайной величины от своего среднего значения называется:

- а) дисперсией; б) флуктуацией; в) температурой; г) относительной погрешностью.

3. Точка равномерно вращается по окружности. Найти функцию распределения по углам.

4. Газ состоит из молекул массы  $m$  и находится при температуре  $T$ . С помощью распределения Максвелла найти распределение молекул по энергиям. Определить наиболее вероятное и среднее значение кинетической энергии.

**б) Критерии оценивания компетенций (результатов):**

**Критерии и шкала оценивания**

Оценка	Критерий оценки
Отлично 36–40	<b>Студент должен:</b> – продемонстрировать глубокое и прочное усвоение знаний программного материала; – исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно изложить теоретический материал; – правильно формулировать определения; – продемонстрировать умения самостоятельной работы с литературой; – уметь сделать выводы по излагаемому материалу.
Хорошо 30–35	<b>Студент должен:</b> – продемонстрировать достаточно полное знание программного материала; – продемонстрировать знание основных теоретических понятий; – достаточно последовательно, грамотно и логически стройно излагать материал; – продемонстрировать умение ориентироваться в литературе;

	<ul style="list-style-type: none"> <li>— уметь сделать достаточно обоснованные выводы по излагаемому материалу.</li> </ul>
Удовлетворительно 24–29	<p><b>Студент должен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— продемонстрировать общее знание изучаемого материала;</li> <li>— показать общее владение понятийным аппаратом дисциплины;</li> <li>— уметь строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li> <li>— знать основную рекомендуемую программой учебную литературу.</li> </ul>
Неудовлетворительно 23 и меньше	<p><b>Студент демонстрирует:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— незнание значительной части программного материала;</li> <li>— не владение понятийным аппаратом дисциплины;</li> <li>— существенные ошибки при изложении учебного материала;</li> <li>— неумение строить ответ в соответствии со структурой излагаемого вопроса;</li> <li>— неумение делать выводы по излагаемому материалу.</li> </ul>

**в) Описание шкалы оценивания:**

Рейтинговый балл по дисциплине за контрольную	Оценка по 5-балльной системе
27 – 30	Отлично
22 – 26	Хорошо
18 – 21	Удовлетворительно
<17	Неудовлетворительно

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

Итоговая оценка 60 баллов максимально за работу в семестре и 40 баллов максимально на зачете и экзамене.

За работу в семестре можно получить 30 баллов за коллоквиум и 30 баллов за контрольную работу.

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
<i>6 семестр</i>			
Текущий	<b>Контрольная точка № 1</b>		
	Коллоквиум	18	30
	<b>Контрольная точка № 2</b>		
	Контрольная работа	18	30
Промежуточный	<b>Зачет</b>	24	40
	Билеты		
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		60	100
Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
<i>7 семестр</i>			
Текущий	<b>Контрольная точка № 1</b>		
	Коллоквиум	18	30
	<b>Контрольная точка № 2</b>		
	Контрольная работа	18	30
Промежуточный	<b>Экзамен</b>	24	40
	Билеты		

ИТОГО по дисциплине		60	100
Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум

Шкала пересчета итогового рейтингового балла в оценку по 5-балльной системе

Итоговый рейтинговый балл по дисциплине	Оценка по 5-балльной системе
90 - 100	Отлично
75 – 89	Хорошо
60 – 74	Удовлетворительно
<60	Неудовлетворительно

## 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

### a) основная учебная литература:

1. В.В. Балашов. Курс квантовой механики. Москва-Ижевск, НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001 г. (30 экз. в библиотеке ИАТЕ)
2. И.В. Савельев. Основы теоретической физики. Том 2. Квантовая механика. М., Наука, Физматлит, 2006 г. (7 экз.)
3. А.С.Давыдов. Квантовая механика, М., "Наука", 1973 г. (5 экз.)
4. И.Е. Иродов. Задачи по квантовой физике. М., Высшая школа, 1991 – 2004. (45 экз)
5. В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган. Задачи по квантовой механике. - М.: Наука, 1981. (Есть на кафедре ОиСФ в электронном виде)
6. В.И. Куштан. Конспект лекций по статистической физике. Обнинск, 2010.
7. И.П. Базаров. Термодинамика. М.: «Высшая школа», 2012.
9. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. Т.5 Часть1, М.: «Наука», 2001.
10. В.Г. Левич. Курс теоретической физики. Том 1, М.: «Наука», 1979.

### б) дополнительная учебная литература:

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика. Том III. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. М.,"Наука", 1989 г. (3 экз.)
2. А.Боум. Квантовая механика. Основы и приложения. Москва, “Мир”, 1990 г. (Есть на кафедре ОиСФ в электронном виде)
3. А. Мессиа. Квантовая механика. Том 1 и 2. М., “Наука”, Физматлит,1979 г. (Есть на кафедре ОиСФ в электронном виде)
4. В.Г.Левич. Ю.А.Вдовин и В.А. Мяmlin. Курс теоретической физики. Том 2. Квантовая механика. Квантовая статистика и физическая кинетика. М., "Наука", 1971 (Есть на кафедре ОиСФ в электронном виде)
5. Флюгге. Задачи по квантовой механике. Том 1 и 2. М., “Мир”, 1976 г. (Есть на кафедре ОиСФ в электронном виде)
6. Л.Г.Гречко, В.И.Сугаков, О.Ф.Томасевич, А.М.Федорченко. Сборник задач по теоретической физике. М., Высшая школа, 1984 г. (Есть на кафедре ОиСФ в электронном виде)
7. Ф.Г.Серова, А.А.Янкина. Сборник задач по теоретической физике. Квантовая механика, статистическая физика. М., “Просвещение”, 1979 г. (Есть на кафедре ОиСФ в электронном виде)
8. И.А. Квасников. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. М.: МГУ, 2008.
9. Р. Кубо. Статистическая механика. М., Мир,1988.
10. А.И. Ансельм. Основы статистической физики и термодинамики. М., Наука, 1973.
11. М.В. Садовский. Лекции по статистической физике, М., Ижевск, ИКИ, 2003.

**8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины**

Интернет – сайт «В помощь студентам, изучающим физику»  
(<http://www.iatephysics.narod.ru>)

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.
Практические занятия	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам, структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др.
Контрольная работа	Знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники, конспект основных положений, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в этой теме.
Коллоквиум	Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену (зачету) необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу.

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

1. Чтение лекций с использованием слайд-презентаций
2. Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
3. Интерактивное общение с помощью э/почты или Skype.

**11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

1. Аудиторный фонд института
2. Компьютерный класс каф. ОиСФ
3. Библиотечный фонд института

**12. Иные сведения и (или) материалы**

**12.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Часов в интерактивной форме – 40.

## **12.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки**

### **Понятие матрицы плотности и статистического оператора.**

Чистые и смешанные состояния. Матрица плотности и статистический оператор для чистого состояния. Матрица плотности для смешанного состояния. Матрица плотности составной системы. Квантовая система в термостате.(§27-§31 из [1], задачи 7.1-7.5 из [1] )

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Дать определение чистого и смешанного состояния.
2. Как определяется матрица плотности для чистого состояния?
3. Как определяется матрица плотности для смешанного состояния?
4. Записать уравнение для матрицы плотности.
5. Что такое статистический оператор?
6. Записать основные свойства матрицы плотности.
7. Как записывается матрица плотности составной системы?
8. Какой вид имеет матрица плотности для системы в термостате?

### **Типовые задания для самопроверки:**

#### **Билет N 1**

1. Доказать, что след матрицы плотности равен единице.
2. Найти матрицу плотности свободной частицы в термостате.

#### **Билет N 2**

1. Доказать, что диагональные элементы матрицы плотности всегда положительны.
2. Найти матрицу плотности линейного гармонического осциллятора для произвольного момента времени, если в начальный момент его состояние является некогерентной смесью основного и первого возбуждённого состояния с весами  $P_1$  и  $P_2$ . Использовать энергетическое представление.

#### **Билет N 3**

1. Вывести уравнение движения для статистического оператора.
2. Найти матрицу плотности линейного гармонического осциллятора для произвольного момента времени, если в начальный момент его состояние является некогерентной смесью основного и первого возбуждённого состояния с весами  $P_1$  и  $P_2$ . Использовать импульсное представление.

#### **Билет N 4**

1. Вывести уравнение для матрицы плотности составной системы.
2. Найти матрицу плотности линейного гармонического осциллятора для произвольного момента времени, если в начальный момент его состояние является некогерентной смесью основного и первого возбуждённого состояния с весами  $P_1$  и  $P_2$ . Использовать координатное представление.

### **Методы исследования структуры электронной оболочки атомов.**

Самосогласованное поля Хартри. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока. Уравнения для волновых функций атома гелия. Методы решений уравнений Хартри – Фока. (§73 - §78 из [3], задачи 11.29 – 11.34 из [5]).

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Какое поле называется самосогласованным?
2. Как записываются уравнения Хартри для многоэлектронного атома?
3. Каким образом учитывается тождественность частиц в методе Хартри-Фока?
4. Как записываются уравнения Хартри-Фока для многоэлектронного атома?
5. Какие методы используются при решении уравнений Хартри-Фока?

*Типовые задания для самопроверки:*

**Билет N 1**

1. Вывести уравнения Хартри для атома гелия.
2. Вычислить обменную энергию для атома гелия, используя водородоподобные волновые функции.

**Билет N 2**

1. Вывести уравнения Хартри-Фока для атома гелия.
2. Вычислить обменную энергию для молекулы водорода, используя водородоподобные волновые функции.

**Билет N 3**

1. Вывести уравнения Хартри-Фока для молекулы водорода.
2. Вычислить полную энергию для атома гелия, используя водородоподобные волновые функции.

**Билет N 4**

1. Решить уравнения Хартри-Фока для атома гелия методом последовательных приближений с точностью до второго порядка по межэлектронному взаимодействию используя в качестве нулевого приближения водородоподобные волновые функции.
2. Вычислить полную энергию для молекулы водорода, используя водородоподобные волновые функции.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа дисциплины разработана в отделении биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

Рассмотрена на заседании отделения биотехнологий и рекомендована к одобрению Ученым советом ИАТЭ НИЯУ МИФИ  (протокол № <u>9/1</u> от « <u>21</u> » <u>04</u> <u>2023</u> г.)	Начальник отделения биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ  A.A. Котляров
---	--

