



*Составитель:* Бармасова А.М. – старший преподаватель кафедры физики РГГМУ.

*Ответственный редактор:* Бобровский А.П. заведующий кафедрой физики РГГМУ.

*Рецензент:* Букина М. – кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры общей физики 2 СПбГУ.

© А.М. Бармасова, 2018 г.

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2018.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью дисциплины** «Термодинамика. Статистическая физика. Физическая кинетика» является углубленная подготовка студентов, владеющих глубокими теоретическими знаниями и практическими навыками в области теоретической физики, необходимыми для выработки правильного представления о явлениях и закономерностях природы, для создания базы освоения общих и специальных дисциплин и всей последующей деятельности после университета.

**Основные задачи дисциплины** «Термодинамика. Статистическая физика. Физическая кинетика»:

обучить студента теоретическим основам и методам научных знаний в области термодинамики и статистической физики;

научить применять полученные теоретические навыки при решении задач, а также при анализе физического смысла полученных решений;

выработать навыки работы с математическим аппаратом, используемом в термодинамике и статистической физике.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Термодинамика. Статистическая физика. Физическая кинетика» (Б1.Б.10.5.) для направления «03.03.02 – Физика» относится к базовым дисциплинам цикла Б1, входит в состав модуля «Теоретическая физика» и изучается в шестом семестре после изучения дисциплин «Теоретическая механика», «Механика сплошных сред» и «Электродинамика». Она дает теоретическую основу для освоения как курсов данного модуля – «Физика конденсированного состояния», так и специальных дисциплин – «Теория колебаний и волн», «Теория переноса электромагнитных волн в газах», «Фотохимические процессы в атмосфере», «Статистическая гидромеханика», «Радиационная экология» и др.

Курс рассчитан на студентов-физиков, освоивших курсы «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм. Оптика», «Атомная физика. Физика атомного ядра и элементарных частиц», «Теоретическая механика», «Механика сплошных сред», «Электродинамика», «Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Векторный и тензорный анализ», «Теория функции комплексного переменного», «Теория вероятностей и математическая статистика».

## ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

При определении формы проведения занятий с обучающимся-инвалидом учитываются рекомендации, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные рабочие места с учетом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.

### 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-9.

<b>ОПК-2: способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.</b>	
<b>Уровень освоения</b>	<b>Признаки проявления</b>
<b>Продвинутый</b>	
Знает	фундаментальные разделы математики, линейной алгебры, методов математической физики, применяемые в статистической физике и термодинамике
Умеет	использовать методы адекватного физико-математического моделирования к решению конкретных статистических задач
Владеет	специальными математическими навыками решения задач статистической физики и термодинамики, анализа полученных решений с учетом границ применимости моделей
<b>ОПК-3:Способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</b>	
<b>Уровень освоения</b>	<b>Признаки проявления</b>
<b>Продвинутый</b>	
Знает:	физические явления, для объяснения которых требуется использо-

	вать методы статистической физики
Умеет:	описывать простейшие статистические системы с помощью классических и квантовых функций распределения
Владеет:	навыками расчета термодинамических потенциалов для подобных систем и анализа физического смысла полученных решений
<b>ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</b>	
<b>Уровень освоения</b>	<b>Признаки проявления</b>
<b>Минимальный</b>	
Знает:	формулы классических и квантовых функций распределения для различных систем, начала термодинамики
Умеет:	объяснить статистические явления и эффекты с позиций статистической физики и указать, какими законами описывается данное явление или эффект
Владеет:	навыками истолковывать смысл физических величин и понятий, используемых в статистической физике и термодинамике
<b>Базовый</b>	
Знает:	различные виды распределений
Умеет:	находить средние значения физических величин с помощью подходящих распределений
Владеет:	навыками определения возможных характеристик статистических ансамблей
<b>Продвинутый</b>	
Знает:	приближенные и точные методы решения задач статистической физики, термодинамики, физической кинетики
Умеет:	применять методы вычисления свойств различных термодинамических систем
Владеет:	навыками самостоятельного решения профессиональных задач с применением статистической физики, термодинамики, физической кинетики
<b>ПК-9: способность проектировать, организовывать и анализировать педагогическую деятельность, обеспечивая последовательность изложения материала и междисциплинарные связи физики с другими дисциплинами.</b>	
<b>Уровень освоения</b>	<b>Признаки проявления</b>
<b>Минимальный</b>	
Знает:	взаимосвязь статистической физики, термодинамики и физической кинетики с другими разделами физики и естественными науками
Умеет:	связно построить сообщение (доклад), обеспечивая последовательность изложения материала
Владеет:	навыками сбора и систематизации информации по конкретной физической тематике

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:**

- фундаментальные разделы математики, линейной алгебры, методов математической физики, применяемые в статистической физике, термодинамике и физической кинетике;
- взаимосвязь статистической физики, термодинамики и физической кинетики с другими разделами физики и естественными науками;

- основные понятия, определения и законы равновесной термодинамики, как метода исследования макроскопических систем;
- методологические основы описания макроскопических систем, процессов, с учетом их взаимосвязи и взаимодействия, как с феноменологической, так и с теоретической точки зрения;
- основы термодинамического подхода при решении научно-исследовательских и практических задач;
- приближенные и точные методы решения задач статистической физики, термодинамики и физической кинетики.

#### **Уметь:**

- объяснить статистические явления и эффекты с позиций статистической физики и указать, какими законами описывается данное явление или эффект;
- использовать методы равновесной термодинамики для изучения термодинамических свойств макроскопических систем, находящихся под воздействием внешних факторов (давление и температура);
- использовать методы адекватного физико-математического моделирования и анализа к решению конкретных статистических задач;
- описывать простейшие статистические системы при помощи термодинамических потенциалов;
- формулировать цели исследования и принципы функционирования равновесных термодинамических систем;
- выполнять оценку характеристических функций и основных параметров при исследовании термодинамических систем;
- связно построить сообщение (доклад), обеспечивая последовательность изложения материала.

#### **Владеть:**

- специальными математическими навыками решения задач статистической физики, термодинамики и физической кинетики, анализа полученных решений с учетом границ применимости моделей;
- навыками использования классических и квантовых функций распределения для простейших систем и анализа физического смысла полученных решений;
- навыками истолковывать смысл статистических физических величин и понятий;
- навыками самостоятельного решения профессиональных задач с применением статистической физики, термодинамики и физической кинетики;

- навыками определения характеристик систем с помощью классических и квантовых функций распределения;
- навыками сбора и систематизации информации по конкретной физической тематике.

**1. Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения  
и критериям их оценивания**

Этап (уровень) освоения компетенции	Основные признаки проявления компетенции (дескрипторное описание уровня)				
	1.	2.	3.	4.	5.
<b>Уровень 1</b> (минимальный)	не владеет	слабо ориентируется в терминологии и содержании	Способен выделить основные идеи текста, работает с критической литературой	Владеет основными навыками работы с источниками и критической литературой	Способен дать собственную критическую оценку изучаемого материала
	не умеет	не выделяет основные идеи	Способен показать основную идею в развитии	Способен представить ключевую проблему в ее связи с другими процессами	Может соотнести основные идеи с современными проблемами
	не знает	допускает грубые ошибки	Знает основные рабочие категории, однако не ориентируется в их специфике	Понимает специфику основных рабочих категорий	Способен выделить характерный авторский подход
<b>Уровень 2</b> (базовый)	не владеет	плохо ориентируется в терминологии и содержании	Владеет приемами поиска и систематизации, но не способен свободно изложить материал	Свободно излагает материал, однако не демонстрирует навыков сравнения основных идей и концепций	Способен сравнивать концепции, аргументированно излагает материал
	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит проблем	Выделяет конкретную проблему, однако излишне упрощает ее	Способен выделить и сравнить концепции, но испытывает сложности с их практической привязкой	Аргументированно проводит сравнение концепций по заданной проблематике
	не знает	допускает много ошибок	Может изложить основные рабочие категории	Знает основные отличия концепций в заданной проблемной области	Способен выделить специфику концепций в заданной проблемной области
<b>Уровень 3</b>	не владеет	ориентируется в	В общих чертах	Видит источники современ-	Способен грамотно обосновать собст-



(продвинутый)	деет	терминологии и содержания	понимает основную идею, однако плохо связывает ее с существующей проблематикой	ных проблем в заданной области анализа, владеет подходами к их решению	венную позицию относительно решения современных проблем в заданной области
	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит их в развитии	Может понять практическое назначение основной идеи, но затрудняется вывить ее основания	Выявляет основания заданной области анализа, понимает ее практическую ценность, однако испытывает затруднения в описании сложных объектов анализа	Свободно ориентируется в заданной области анализа. Понимает ее основания и умеет выделить практическое значение заданной области
	не знает	допускает ошибки при выделении рабочей области анализа	Способен изложить основное содержание современных научных идей в рабочей области анализа	Знает основное содержание современных научных идей в рабочей области анализа, способен их сопоставить	Может дать критический анализ современным проблемам в заданной области анализа

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Объем дисциплины по видам учебных занятий в академических часах

<b>Год набора</b>	<b>2015, 2016, 2017, 2018 г.г. набора</b>
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	180
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателем – всего:</b>	<b>64</b>
лекции	32
практические занятия	32
<b>Самостоятельная работа (СРС) – всего:</b>	<b>116</b>
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	Экзамен

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единицы, 180 часов, число часов занятий в активной или в интерактивной форме – 32 часа.

#### 4.1. Структура дисциплины по всем годам приема

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Из них часов в активной и интерактивной форме	Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции
		Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа			
1	Феноменологическая термодинамика	4	2	18	4	устный опрос, проверка домашнего задания	ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-9
2	Термодинамика открытых систем	4	4	16	4	устный опрос, проверка домашнего задания	ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-9
3	Квантовые и классические функции распределения	6	6	16	6	устный опрос, проверка домашнего задания, тест	ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-9

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Из них часов в активной и интерактивной форме	Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции
		Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа			
4	Теория идеальных систем	6	6	16	6	устный опрос, проверка домашнего задания	ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-9
5	Статистическая теория неидеальных систем	4	4	16	4	устный опрос, проверка домашнего задания	ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-9
6	Теория флуктуаций	4	8	16	6	устный опрос, проверка домашнего задания	ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-9
7	Неравновесная термодинамика. Физическая кинетика	4	2	18	2	устный опрос, проверка домашнего задания, тест	ОПК-2, ОПК-3, ПК-1
	Итого:	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>116</b>	<b>32</b>		

## 4.2. Лекционные занятия, их содержание

Наименование разделов и тем	Содержание
Феноменологическая термодинамика	<p><i>1-3. Лекция (6 часов):</i></p> <p>Характер термодинамических законов. Основные определения и понятия термодинамического описания системы (изолированная система, замкнутая система, тепловое равновесие). Интенсивные и экстенсивные параметры. Количество теплоты и работа. Внутренняя энергия. Первое начало термодинамики. Уравнение состояния. Типы процессов (равновесный, неравновесный, обратимый и необратимый). Изопроцессы. Уравнения и графики этих процессов в случае идеального газа. Понятие об искусственных и естественных процессах. Второе начало термодинамики в формулировках Карно и Клаузиуса. Схема действия тепловой машины. КПД тепловой машины. Цикл Карно. КПД цикла Карно. Понятие о термодинамической шкале температур. Определение энтропии. Энтропия как функция состояния. Изменение энтропии при обратимых и необратимых процессах. Возрастание энтропии в изолированной системе. Термодинамические потенциалы. Уравнения Гиббса-Дюгема. Общие условия устойчивости термодинамического равновесия. Максимальная работа процессов.</p> <p>Фазовые переходы. Правило фаз Гиббса. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Уравнения Эренфеста-Кеезома.</p>
Термодинамика открытых систем	<p><i>4-5. Лекция (4 часа):</i></p> <p>Открытые системы. Формулы изменения характеристических функций открытых систем. Зависимость характеристических функций от числа частиц. Выражения для химического потенциала через производные от числа частиц характеристических функций. Химический потенциал, как свободная энергия Гиббса, приходящаяся на одну частицу. Задачи применения термодинамики к расчету равновесий при химических реакциях. Условие равновесия, выраженное через химические потенциалы веществ, участвующих в реакциях. Зависимость констант равновесия химических реакций от температуры. Принцип Ле – Шателье. Примеры применения этого принципа в природе. Зависимость констант равновесия химических реакций от температуры в свете принципа Ле – Шателье.</p>

Наименование разделов и тем	Содержание
Квантовые и классические функции распределения	<p><i>6-8. Лекция (6 часов):</i></p> <p>Общие вопросы теории. Законы статистической физики. Возможности и ограничения использования классического описания молекулярных систем. Необходимость двойственной формулировки основных положений статистической физики – квантовой и классической (квазиклассической). Задача вычислений средних значений физических величин как одна из главных задач статистической физики. Понятия фазового пространства, плотности вероятности в классической статистической физике, вероятности состояния, матрицы плотности в квантовой статистической физике. Ансамбли в статистической физике. Среднее по времени и среднее по ансамблю. Эргодическая гипотеза. Микроканонический ансамбль и микроканоническое распределение в квантовом и классическом случаях. Число состояний в квазиклассическом случае. Канонические распределения (распределение Гиббса). Вывод канонического распределения. Запись формул канонического распределения для классического и квантового случая. Статистическая сумма. Выражения для статистической суммы в квантовом и классическом случаях. Первое начало термодинамики с точки зрения статистической физики. Выражение для энтропии через вероятности и через число состояний. Третье начало термодинамики с точки зрения статистической физики. Выражение свободной энергии Гельмгольца через статистическую сумму. Значение этого выражения в практических применениях статистической физики.</p>

Наименование разделов и тем	Содержание
Статистическая теория идеальных систем	<p><i>9-11. Лекция (6 часов):</i></p> <p>Понятие идеального газа в молекулярно – кинетической теории, применение канонического распределения к идеальному газу. Распределение молекул по координатам и по скоростям как следствие применения канонического распределения к идеальному газу. Применение распределения Максвелла для расчета средних скоростей молекул. Распределение молекул в поле силы тяжести. Теорема о распределении кинетической энергии молекул по степеням свободы. Классическая теория теплоемкости идеального газа и ее недостатки.</p> <p>Применение методов статистической физики к задаче расчета термодинамических функций идеального газа. Выражение статистической суммы идеального газа через статистическую сумму молекул. Колебательные, вращательные и электронные уровни энергии молекул. Представление статистической суммы молекул в виде произведения поступательной, вращательной, колебательной и электронной статистических сумм. Возможность классического расчета поступательной статистической суммы, формулы для поступательной статистической суммы. Расчет колебательной статистической суммы молекул в гармоническом приближении. Задача расчета вращательной статистической суммы и выражения для вращательной статистической суммы двухатомных молекул. Задача расчета электронной статистической суммы. Формула для энтропии одноатомного идеального газа. Выражения для констант равновесия химических газовых реакций через молекулярные статистические суммы. Применение этих формул для расчетов степени ионизации газов. Формула Саха.</p>
Статистическая теория неидеальных систем	<p><i>12-13. Лекция (4 часа):</i></p> <p>Проблема учета взаимодействия молекул при расчете термодинамических функций неидеального газа. Общий характер зависимости потенциальной энергии молекул от расстояния между центрами молекул. Формула Леннарда–Джонса. Случаи парных и непарных (специфических) взаимодействий молекул. Конфигурационный интеграл, как множитель в выражении статистической суммы, отражающий взаимодействие молекул. Метод Майера разложения конфигурационного интеграла в ряд. Термодинамические величины классической плазмы. Уравнения самосогласованного электрического поля электронов и ионов. Метод Дебая – Хюккеля. Дебаевский радиус. Метод корреляционных функций. Статистическая физика открытых систем. Большое каноническое распределение и большая статистическая сумма. Применение большого канонического распределения для определения среднего числа частиц в открытой системе. Выражение давления в открытой системе через большую статистическую сумму. Квантовый идеальный газ. Распределение Больцмана для числа частиц в данном квантовом состоянии. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Понятие о вырожденном и невырожденном газе.</p>

Наименование разделов и тем	Содержание
Теория флуктуаций	<p><i>14. Лекция (2 часа):</i></p> <p>Флуктуации. Общая формула для вероятности флуктуации в изолированной системе. Понятие о мере (средней величине) флуктуации и относительной флуктуации. Теорема о зависимости относительной флуктуации от числа независимых частей системы. Распределение Гаусса для одной или нескольких величин. Флуктуация в системе, находящейся в термостате. Флуктуации основных физических величин. Связь флуктуации энергии и теплоемкости. Особенности флуктуации энергии при фазовых переходах и при низких температурах. Флуктуация плотности. Флуктуации в открытой системе. Формула для величины флуктуации числа частиц. Формула Пуассона.</p>
Неравновесная термодинамика. Физическая кинетика	<p><i>15-16. Лекция (4 часа):</i></p> <p>Задачи неравновесной термодинамики. Понятие о сильной и слабой неравновесности. Локальное равновесие. Производство энтропии в неравновесных процессах. Термодинамические потоки и силы. Кинетические коэффициенты. Выражение для производства энтропии через термодинамические потоки и силы. Принцип минимума производства энтропии Пригожина – Гленсдорфа. Приложение этого принципа к случаю слабой неравновесности. Модификация принципа для общего случая и проблемы, возникающие при этом. Образование структур в неравновесных условиях. Основные задачи физической кинетики. Теорема Лиувилля в кинетике и уравнение Лиувилля для классической функции распределения. Квантовые уравнения Лиувилля. Системы с сильными и слабыми межчастичными взаимодействиями. Особенности неравновесных состояний газов. Локальное распределение Максвелла. Одночастичная функция распределения. Выражение физических величин через одночастичную функцию распределения. Вид кинетического уравнения Больцмана, его значение и область применения. H-теорема Больцмана. Применение кинетического уравнения для расчета коэффициентов переноса в системах нейтральных частиц и в электронном газе. Приближение самосогласованного поля и кинетическое уравнение Власова. Плазменные колебания и затухание Ландау. Принцип детального равновесия. Понятие о марковских и немарковских процессах. Случайные стационарные марковские процессы. Функция вероятностей перехода между двумя состояниями. Уравнение Смолуховского. Связь функции вероятности перехода с одночастичной функцией распределения. Уравнение Фоккера – Планка. Диффузионный поток. Броуновские частицы. Характер движения броуновских частиц. Формулы Эйнштейна для дисперсии импульса и дисперсии смещения броуновских частиц. Квантовые переходы под влиянием электрического поля. Коэффициенты Эйнштейна. Тепловые шумы и формулы Найквиста.</p>

### 4.3. Практические занятия, их содержание

Наименование разделов и тем	Содержание и формы проведения
Феноменологическая термодинамика	<i>1-3. Практическое занятие (6 часов):</i> Основные законы термодинамики
Термодинамика открытых систем	<i>4-5. Практическое занятие (4 часа):</i> Дифференциальные уравнения связи термодинамических функций и потенциалов.
Квантовые и классические функции распределения	<i>6-8. Практическое занятие (6 часов):</i> Решение задач по темам: Вычисление средних значений физических величин. Микроканонический ансамбль и микроканоническое распределение в квантовом и классическом случаях. Канонические распределения (распределение Гиббса). Статистическая сумма. Выражения для статистической суммы в квантовом и классическом случаях. Первое начало термодинамики с точки зрения статистической физики. Выражение для энтропии через вероятности и через число состояний. Выражение свободной энергии Гельмгольца через статистическую сумму..
Статистическая теория идеальных систем	<i>9-11. Практическое занятие (6 часов):</i> Решение типовых задач на расчет статистических характеристик идеального газа
Статистическая теория неидеальных систем	<i>12-13. Практическое занятие (4 часа):</i> Решение задач по темам: Общий характер зависимости потенциальной энергии молекул от расстояния между центрами молекул. Формула Леннард-Джонса. Статистическая физика открытых систем. Большое каноническое распределение и большая статистическая сумма. Применение большого канонического распределения для определения среднего числа частиц в открытой системе. Выражение давления в открытой системе через большую статистическую сумму. Квантовый идеальный газ. Распределение Больцмана для числа частиц в данном квантовом состоянии. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
Теория флуктуаций	<i>14. Практическое занятие (2 часа):</i> Решение задач по темам: Распределение Гаусса для одной или нескольких величин. Флуктуация в системе, находящейся в термостате. Флуктуации основных физических величин. Типовые законы вероятностных распределений.
Неравновесная термодинамика. Физическая кинетика	<i>15-16. Практическое занятие (4 часа):</i> Типовые задачи на расчет кинетических коэффициентов

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ И ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУ-



## **ЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕ- СТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1. Текущий контроль**

Текущий контроль осуществляется в ходе изучения каждой темы дисциплины и по окончании каждого раздела. Система, сроки и виды контроля доводятся до сведения каждого студента в начале занятий по дисциплине. В рамках текущего контроля оцениваются все виды работы студента, предусмотренные учебной программой по дисциплине.

Формами текущего контроля являются:

- экспресс-опрос в виде «летучки» (проводится после каждой лекции во вступительной части практического занятия);
- проверка выполнения заданий на практические занятия (заданий по решению задач);
- собеседования (индивидуальный опрос) по теме занятия;
- письменное тестирование;

Текущий контроль осуществляется в виде опроса на лекциях, практических занятиях, решении тестовых заданий, проверка домашних заданий.

#### **а). Образцы тестовых заданий текущего контроля**

**Пример тестового задания по курсу «Термодинамика. Статистическая физика. Физическая кинетика»**

### **Раздел 1**

#### **Феноменологическая термодинамика**

**Задание 1.** Выберите из приведенных суждений первое начало термодинамики

- A. Если физическая система изолирована, то температура во всех частях этой системы становится одинаковой с течением времени ;
- B. Теплота не может самопроизвольно переходить от более холодного к более нагретому телу;
- C. Сумма изменений энтропии системы и внешней среды не может убывать.
- D. Когда система претерпевает превращение, алгебраическая сумма различных изменений энергии (теплоты, работы и т.д.) не зависит от способа превращения. Она зависит только от начального и конечного состояний.

Правильный ответ: D.\_\_\_\_\_

## Раздел 2

### Термодинамика открытых систем

**Задание 2.** Скорость химической реакции - это

- A. Количество превращений в секунду;
- B. Число актов реакции за секунду в единичном объеме;
- C. Отношение концентраций продуктов до и после реакции

Правильный ответ: \_\_\_\_\_ B \_\_\_\_\_

## Раздел 3

### Квантовые и классические функции распределения

**Задание 3.** Вид микроканонического распределения

A. 
$$f(q, p) = A \ln \left[ \frac{E(q, p)}{E_0} \right]$$

B. 
$$f(q, p) = A \exp \left[ -\frac{p^2}{2mkT} \right]$$

C. 
$$f(q, p) = A \delta [E(q, p) - E_0],$$

D. 
$$f(q, p) = A \exp \left[ -\frac{E(q, p)}{kT} \right],$$

где  $\{q, p\}$  совокупность всех обобщённых координат и импульсов системы,  $A$  - постоянная нормировки,  $E(q, p)$  - энергия системы

Правильный ответ: \_\_\_\_\_ C \_\_\_\_\_

## Раздел 4

### Теория идеальных систем

**Задание 4.** Статистическая сумма идеального газа в квантовомеханическом представлении

- A.  $Z = \frac{V}{N!} \left( \frac{2\pi m k T}{h^2} \right)^{\frac{3N}{2}}$
- B.  $Z = \int \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) dpdq$
- C.  $Z = \sum_n \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right)$

Правильный ответ: \_\_\_\_\_ C \_\_\_\_\_

## Раздел 5

### Статистическая теория неидеальных систем

**Задание 5.** Дебаевский радиус- это

- A. Характерное расстояние, на которое в плазме, электролите или полупроводнике распространяется действие электрического поля отдельного заряда;
- B. Характерное расстояние, на котором кулоновская энергия взаимодействия электрона и дырки равна  $kT$ ;
- C. Половина межъядерного расстояния между ближайшими одноимёнными атомами.

Правильный ответ: \_\_\_\_\_ A \_\_\_\_\_

## Раздел 6

### Теория флуктуаций

**Задание 6.** Согласно теории Рэлея рассеяние света в атмосфере связано с

- A. Наличием в атмосфере капель воды
- B. Наличием в атмосфере частиц пыли
- C. Наличием в атмосфере флуктуаций плотности аэрозолей
- D. Наличием флуктуаций плотности газов атмосферы

Правильный ответ: \_\_\_\_\_ D \_\_\_\_\_

## Раздел 7

### Неравновесная термодинамика. Физическая кинетика

**Задание 7.** Теорема Онсагера

- A. Устанавливает связь между кинетическими коэффициентами, определяющими интенсивность перекрёстных процессов переноса теплоты, массы, хими-

ческого потенциала и др.;

В. Стационарному состоянию системы (в условиях, препятствующих достижению равновесного состояния) соответствует минимальное производство энтропий.

С. Необратимые процессы в природе есть процессы перехода из менее вероятного состояния в более вероятное

Правильный ответ: \_\_\_\_\_А\_\_\_\_\_

**б) Примерный перечень вопросов для опроса на лекциях и практических занятиях по дисциплине «Термодинамика. Статистическая физика. Физическая кинетика»**

**Раздел 1**

**Феноменологическая термодинамика**

1. Приведите примеры обратимых и необратимых процессов.
2. Напишите основное уравнение термодинамики для квазистатических процессов.
3. Приведите примеры величин, не являющихся функциями состояния системы.
4. Какие системы называют термостатами?

**Раздел 2**

**Термодинамика открытых систем**

5. Приведите примеры параметров порядка при фазовых переходах второго рода.
6. Напишите условие химического равновесия для реакции горения водорода.

**Раздел 3**

**Квантовые и классические функции распределения**

7. Как выглядит большое каноническое распределение для двухкомпонентной системы?
8. Чему равно значение  $f(\epsilon)$  на уровне Ферми?

**Раздел 4**

**Теория идеальных систем**

9. Как рассчитать средние скорости (квадратичную, арифметическую) молекул с помощью распределения Максвелла?
10. Как выглядит распределение молекул в поле силы тяжести.

**Раздел 5**

**Статистическая теория неидеальных систем**

11. Что означает приближение парных взаимодействий?

12. Как выглядит конфигурационный интеграл для идеального газа во внешнем силовом поле?

13. Найдите вириальные коэффициенты газа Ван-дер-Ваальса.

### Раздел 6

#### Теория флуктуаций

14. Напишите распределение Гаусса для одной или нескольких величин.

15. Напишите формулу Эйнштейна для вероятности флуктуации в замкнутой системе и поясните ее.

### Раздел 7

#### Неравновесная термодинамика. Физическая кинетика

16. Что такое время корреляции?

17. Дайте определение кинетических коэффициентов.

18. Сформулируйте  $H$ -теорему Больцмана.

19. Какого рода системы описываются уравнениями Власова?

#### в) примеры задач для контрольных работ по дисциплине «Термодинамика. Статистическая физика. Физическая кинетика»

1. Найти фазовую траекторию а) свободной материальной частицы; б) частицы, свободно падающей с высоты  $h$ . Как изменится траектория (а) при учете сопротивления движению со стороны среды? (б) при учете неупругости соударения частицы с поверхностью Земли?

2. Две одинаковые частицы совершают одномерное движение в «ящике» длиной  $L$ , испытывая абсолютно упругие соударения друг с другом и со стенками. Пусть в начальный момент времени частицы расположены у противоположных стенок, а их скорости  $v_1$  и  $v_2$  направлены навстречу друг другу. Нарисовать фазовую траекторию одной из частиц для нескольких значений отношения  $v_1/v_2$ .

3. Пусть  $g = CE^N$ , где  $C$  – константа. Найти энергию как функцию температуры.

4. Доказать, что пересечение двух квазистатических адиабат невозможно, так как это приводит к нарушению принципа Томсона.

5. Показать, что следующие процессы необратимы: а) свободное адиабатическое расширение газа, б) процесс Джоуля-Томсона, то есть адиабатическое расширение газа из состояния с давлением  $p$  до  $p + dp$  ( $dp < 0$ ).

6. Найти работу, производимую над идеальным газом, и количество теплоты, получаемое им, когда газ совершает круговой процесс, состоящий из: а) двух изохорных и двух изобарных

процессов, б) двух изохор и двух изотерм, в) двух изотерм и двух адиабат, г) двух изобар и двух изотерм, д) двух изобар и двух адиабат.

7. Вычислить большую статистическую сумму для идеального газа в классическом режиме. Найти большой термодинамический потенциал, энтропию, среднее число частиц и давление газа. Показать, что число частиц распределено по закону Пуассона.

8. Найти распределение вероятностей для кинетической энергии молекулы идеального газа. Вычислить среднее и наиболее вероятное значения кинетической энергии.

9. Найти второй и третий вириальный коэффициенты газа, состоящего из жестких сфер диаметра  $a$ .

10. Представить химический потенциал в виде ряда по степеням плотности; по степеням давления.

11. Найти температурную зависимость давления насыщенного пара над твердым телом (пар рассматривать как идеальный газ, теплоемкости газа и твердого тела постоянные). Энергия связи молекул в твердом теле равна  $\epsilon_0$ .

12. Найти средний квадрат флуктуации числа частиц в заданном объеме; рассмотреть случай идеального газа.

13. Вычислить электропроводность вырожденного электронного газа.

#### г) примерная тематика рефератов, эссе, докладов

Темы рефератов должны соответствовать дисциплине «Термодинамика. Статистическая физика. Физическая кинетика».

Также возможны дополнительные темы рефератов.

1. Борьба между корпускулярной гипотезой о природе теплоты и теорией теплорода.
2. Зарождение термодинамики.
3. Границы применимости второго начала термодинамики и его вероятностное истолкование.
4. Абсолютная температура как интегрирующий делитель. Теорема Шиллера-Каратеодори.
5. Термодинамика излучения. Закон Стефана–Больцмана.
6. Информационный смысл энтропии.
7. Термодинамика звезд.
8. Термодинамика гальванического элемента.
9. Термодинамика химических реакций в газах.
10. Каноническое распределение и термодинамические величины.
11. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и

ее приложения.

## 5.2. Методические указания по организации самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубления полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, зачетам и экзаменам.

Самостоятельная работа предусматривает, как правило, прочтение предыдущего лекционного материала, выполнение домашних заданий, вычислительных работ, подготовку к практическим занятиям. Необходимые для самостоятельной работы материалы перечислены в п.6 –**учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

## 5.3. Промежуточный контроль: \_\_\_\_\_ Экзамен \_\_\_\_\_

Промежуточная аттестация проводится в форме устного экзамена в традиционной форме по графику промежуточной аттестации

### ОБРАЗЕЦ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА ПО КУРСУ «ТЕРМОДИНАМИКА. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА. ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА»

*Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
03.03.02 – Физика (академический бакалавриат)*

### Экзаменационный билет № 1 Дисциплина «ТЕРМОДИНАМИКА. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА. ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА»

1. Макроскопические и микроскопические величины, характеризующие системы, состоящие из большого числа частиц. Задачи термодинамики и статистической физики.
2. Расчет колебательной составляющей статистической суммы гармонического осциллятора и его средней энергии.

Экзаменатор \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой физики \_\_\_\_\_

Протокол заседания кафедры № от 2018 г.

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Рекомендуемая литература**

#### **а) основная литература:**

1. *Ансельм А.И.* Основы статистической физики и термодинамики. / СПб.: Лань, 2007. - 427 с.
2. *Базаров И.П.* Термодинамика. М., 1983.
3. *Васильев А.М.* Введение в статистическую физику. /М., ВШ, 1980, 272 с.
4. *Залевски К.* Феноменологическая и статистическая термодинамика. Краткий курс лекций./М.«Мир», 1973, 167 с.
5. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика: уч. пособие – В 10-ти т. – Т. 5. – Ч. 1. – Статистическая физика. – М.: Физматлит, 2005. –616 с.
6. *Леонтович М. А.* Введение в термодинамику. Статистическая физика : учеб. пособие/ СПб.: Лань, 2008. - 432 с.:
7. *Мостеллер Ф.* Пятьдесят занимательных вероятностных задач с решениями./М., Наука, 1971, 103 с.
8. *Ноздрёв В.Ф., Сенкевич А.А.* Курс статистической физики./М., ВШ, 1969, 288 с
9. *Пригожин И., Кондепуди Д.* Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур: Пер. с англ.-М.:Мир, 2002. -461 С.
10. *Ферми Э.* Термодинамика. /Харьков, 1969, 139 с.

#### **б) дополнительная литература:**

11. *Вайсберг Дж.* Погода на Земле. Метеорология./Л., Гидрометеиздат, 1980, 244 с.
12. *Леше А.* Физика молекул./М., Мир, 1987, 228 с.
13. *Хачкурузов Г.А.* Основы общей и химической термодинамики./М. ВШ. 1979, 268 с.

#### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

Пакет MS Office, образовательные ресурсы Интернета.

1. <http://pskgu.ru/ebooks/okfizikc.html> Учебные пособия по общей физике.
2. <http://lectoriy.mipt.ru/lecture?category=Physics&lecturer> Видеолекции и открытые обра-



зовательные материалы ФизТеха. Лекции по Физике.

3. <http://feynmanlectures.caltech.edu/>- The Feynman Lectures on Physics
4. <http://pskgu.ru/ebooks/tf.html> . Теоретическая Физика.
5. <http://physics.nad.ru/> - физика в анимациях
6. <http://dmitryukts.narod.ru/kopilka/video.html>- опыты по физике.
7. <https://sites.google.com/site/rggmustud/> Актуальная информация для студентов, проходящих обучение физике в РГГМУ.
8. <http://www.alleng.ru/>

## 7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОС- ВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекции	<p>В ходе лекционных занятий необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на формулировки физических законов, процессов, явлений. Подробно записывать математические выводы формул. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений.</p>
Практические занятия	<p>Практическое занятие – это занятие, проводимое под руководством преподавателя в учебной аудитории, направленное на углубление научно - теоретических знаний и овладение определенными методами самостоятельной работы. В процессе таких занятий вырабатываются практические умения. Перед практическим занятием следует изучить конспект лекции и рекомендованную литературу, обращая внимание на практическое применение теории и на методику решения типовых задач, решить задачи заданные на дом (не менее пяти типовых задач). Главным содержанием практических занятий является активная работа каждого студента по применению физических понятий, законов и моделей к конкретным задачам, в том числе прикладного характера. На практическом занятии главное – уяснить связь решаемых задач с теоретическими положениями. Для закрепления навыков дома решаются задачи, заданные преподавателем по пройденной теме. Для ведения записей на практических занятиях обычно заводят отдельную тетрадь. Для закрепления полученных практических навыков после изучения темы проводится тестирование. Тестовые задания выполняются в виде решения индивидуальных задач во внеаудиторное время и сдаются преподавателю на проверку. Проверенные тесты хранятся у преподавателя до завершения изучения дисциплины.</p> <p>Логическая связь лекций и практических занятий заключается в том, что информация, полученная на лекции, в процессе самостоятельной работы на практическом занятии осмысливается и перерабатывается, при помощи преподавателя анализируется до мельчайших подробностей, после чего прочно усваивается.</p>

Внеаудиторная работа	представляет собой вид занятий, которые каждый студент организует и планирует самостоятельно. Самостоятельная работа студентов включает: – самостоятельное изучение разделов дисциплины; – подготовку к практическим занятиям, решение индивидуальных задач; – выполнение дополнительных индивидуальных творческих заданий;
Подготовка к экзамену, зачету	Экзамен имеет целью проверить и оценить уровень теоретических знаний, умение применять их к решению практических задач, а также степень овладения практическими умениями и навыками в объеме требований учебных программ. Подготовка к экзамену предполагает изучение конспектов лекций, рекомендуемой литературы и других источников, повторение материалов практических занятий. К экзамену допускаются студенты, выполнившие все требования учебной программы.

## **8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)**

Тема (раздел) дисциплины	Образовательные и информационные технологии	Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
Феноменологическая термодинамика	Лекции, практические занятия, практические задания (домашние задачи), собеседование, тестирование самостоятельная работа студентов	Microsoft Windows Microsoft Office: Word, Excel PowerPoint; ЭБС РГГМУ <a href="https://bibliotech.esstu.ru">https://bibliotech.esstu.ru</a>
Термодинамика открытых систем	Лекции, практические занятия, практические задания (домашние задачи), собеседование, тестирование самостоятельная работа студентов	Microsoft Windows Microsoft Office: Word, Excel PowerPoint; ЭБС РГГМУ <a href="https://bibliotech.esstu.ru">https://bibliotech.esstu.ru</a>
Квантовые и классические функции распределения	Лекции, практические занятия, практические задания (домашние задачи), собеседование, тестирование самостоятельная работа студентов	Microsoft Windows Microsoft Office: Word, Excel PowerPoint; ЭБС РГГМУ <a href="https://bibliotech.esstu.ru">https://bibliotech.esstu.ru</a>
Теория идеальных систем	Лекции, практические занятия, практические задания (домашние задачи), собеседование, тестирование самостоятельная работа студентов	Microsoft Windows Microsoft Office: Word, Excel PowerPoint;

	работа студентов	ЭБС РГГМУ <a href="https://bibliotech.esstu.ru">https://bibliotech.esstu.ru</a>
Статистическая теория не-идеальных систем	Лекции, практические занятия, практические задания (домашние задачи), собеседование, тестирование самостоятельная работа студентов	Microsoft Windows Microsoft Office: Word, Excel PowerPoint; ЭБС РГГМУ <a href="https://bibliotech.esstu.ru">https://bibliotech.esstu.ru</a>
Теория флуктуаций	Лекции, практические занятия, практические задания (домашние задачи), собеседование, тестирование самостоятельная работа студентов	Microsoft Windows Microsoft Office: Word, Excel PowerPoint; ЭБС РГГМУ <a href="https://bibliotech.esstu.ru">https://bibliotech.esstu.ru</a>
Неравновесная термодинамика. Физическая кинетика	Лекции, практические занятия, практические задания (домашние задачи), собеседование, тестирование самостоятельная работа студентов	Microsoft Windows Microsoft Office: Word, Excel PowerPoint; ЭБС РГГМУ <a href="https://bibliotech.esstu.ru">https://bibliotech.esstu.ru</a>

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Учебные поточные аудитории;
2. Аудитория для самостоятельной работы
3. Мультимедийная техника и презентации.
4. Электронно-библиотечная система РГГМУ <https://bibliotech.esstu.ru>