

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Амурский государственный университет"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и научной
работе

 Лейфа А.В. Лейфа

« 1 » сентября 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
«ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

Направление подготовки 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) образовательной программы –

Квалификация выпускника – Бакалавр

Год набора – 2023

Форма обучения – Очная

Курс 3 Семестр 5,6

Экзамен 5,6 сем

Общая трудоемкость дисциплины 252.0 (академ. час), 7.00 (з.е)

Составитель И.А. Голубева, доцент кафедры физики, канд. физ.-мат. наук

Инженерно-физический факультет

Кафедра физики

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВО для направления подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.20 № 891

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики

01.09.2023 г. , протокол № 1

Заведующий кафедрой Стукова Е.В. Стукова

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

Чалкина Н.А. Чалкина

« 1 » сентября 2023 г.

СОГЛАСОВАНО

Научная библиотека

Петрович О.В. Петрович

« 1 » сентября 2023 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

Стукова Е.В. Стукова

« 1 » сентября 2023 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр цифровой трансформации и
технического обеспечения

Тодосейчук А.А. Тодосейчук

« 1 » сентября 2023 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины:

1. Сформировать у студентов современное представление об основных методах термодинамического (феноменологического) описания свойств равновесных и неравновесных макроскопических физических систем, а также познакомить студентов с общей статистической теорией, которая может быть применена к широкому кругу задач: идеальным и неидеальным газам, твердому телу, излучению черного тела, электронам в металлах, флуктуациям и т.д., научить применять эти знания к решению прикладных задач.

2. Сформировать у студентов ясное представление о границах применимости физических моделей и гипотез, используемых при описании динамики и свойств термодинамических систем. Излагая историю развития термодинамики и статистической физики, дать представление о существовании и путях разрешения философских и методологических проблем в данной предметной области.

Задачи дисциплины:

1. Изучение основных законов классической термодинамики и статистической физики, способов описания равновесных и неравновесных термодинамических систем на основе общих методов термодинамики и математической статистики.

2. Изучение основных методологических подходов и приемов решения физических задач в указанной предметной области.

3. Освоение студентами методов теоретического расчета физических характеристик простейших термодинамических систем путем применения законов, моделей и уравнений, рассматриваемых в лекционном курсе.

4. Формирование у будущего физика диалектико- материалистического мировоззрения, в основе которого должны лежать четкие представления о современной физической картине мира и её месте в современной естественнонаучной картине мира.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Термодинамика и статистическая физика» входит в обязательную часть учебного плана, в состав модуля «Теоретическая физика». Дисциплина «Термодинамика и статистическая физика», является одним из разделов теоретической физики, читается после курса «Теоретическая механика и механика сплошных сред». В 3 семестре изучается раздел «Термодинамика», в 5 семестре – раздел «Статистическая физика». Курс представляет собой теоретическую основу для последующего изучения дисциплины «Физика твердого тела». В данном курсе вводятся основные методы теоретического описания, расчета, качественного и количественного анализа равновесного и неравновесного состояния материи, общие для любых физических систем. Математической базой курса являются все дисциплины модуля «Математика», изученные студентами к началу 3 семестра.

Для освоения дисциплины необходимо знать: основы дифференциально-интегрального и вариационного исчисления (дифференциал функции, производная функции, вариация, определенный и неопределенный интеграл, дифференциальные и интегральные уравнения и неравенства), понятие логарифма.

Дисциплина «Термодинамика и статистическая физика», являясь высшим уровнем обобщения физической теории, опирается на базовые представления теории о строении вещества и принципы термодинамического описания макросистем, полученные студентами в курсе «Общая физика» (раздел «Молекулярная физика»).

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

3.1 Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ИД-1 _{ОПК-1} Знает основные понятия и законы физики и других естественных наук, методы математического анализа, алгебры и геометрии. ИД-2 _{ОПК-1} Умеет решать стандартные профессиональные задачи с применением физико-математических и естественнонаучных знаний, методов научного анализа и моделирования. ИД-3 _{ОПК-1} Владеет навыками теоретических и экспериментальных исследований в сфере профессиональной деятельности.

4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7.00 зачетных единицы, 252.0 академических часов.

1 – № п/п

2 – Тема (раздел) дисциплины, курсовая работа (проект), промежуточная аттестация

3 – Семестр

4 – Виды контактной работы и трудоемкость (в академических часах)

4.1 – Л (Лекции)

4.2 – Лекции в виде практической подготовки

4.3 – ПЗ (Практические занятия)

4.4 – Практические занятия в виде практической подготовки

4.5 – ЛР (Лабораторные работы)

4.6 – Лабораторные работы в виде практической подготовки

4.7 – ИКР (Иная контактная работа)

4.8 – КТО (Контроль теоретического обучения)

4.9 – КЭ (Контроль на экзамене)

5 – Контроль (в академических часах)

6 – Самостоятельная работа (в академических часах)

7 – Формы текущего контроля успеваемости

1	2	3	4									5	6	7
			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9			
1	Основные понятия и базовые принципы термодинамики	5	2		2								1	Домашнее задание (самостоятельное решение задач).
2	Первое начало термодинамики	5	4		4								1	Домашнее задание (самостоятельное решение)

																		задач).	
3	Термодинамическая теория теплоемкости	5	4		4													1	Домашнее задание (самостоятельное решение задач).
4	Второе и третье начала термодинамики	5	4		4													1	Домашнее задание (самостоятельное решение задач).
5	Методы термодинамики	5	4		4													2	Контрольная работа (темы 1-4)
6	Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем	5	4		4													2	Домашнее задание (самостоятельное решение задач).
7	Фазовые переходы	5	4		4													2	Семинарское занятие (подготовка по вопросам семинара). Коллоквиум (1-6 разделы)
8	Термодинамика различных физических систем	5	4		2													2	Домашнее задание (самостоятельное решение задач).
9	Термодинамика необратимых процессов	5	4		6													1	Семинарские занятия (подготовка по вопросам семинара). Домашнее задание (самостоятельное решение задач).
10	Экзамен	5												0.3	26.7				Экзамен
11	Введение в статистическую физику	6	4		2													4	Домашнее задание (самостоятельное решение задач).
12	Каноническое распределение (распределение Гиббса)	6	4		4													4	Домашнее задание (самостоятельное решение задач).
13	Идеальный газ	6	2		2													4	Домашнее задание (самостоятельное решение задач).

14	Методы статистической физики при расчете термодинамических функций идеального газа	6	6		6								4	Домашнее задание (самостоятельное решение задач).
15	Неидеальный газ	6	2		4								4	Контрольная работа (темы 11-14)
16	Распределение Ферми и Бозе	6	4		4								4	Домашнее задание (самостоятельное решение задач).
17	Конденсированные тела	6	4		4								4	Коллоквиум (11-16 разделы)
18	Сверхпроводимость	6	4		4								6	Семинарское занятие (подготовка по вопросам семинара)
19	Основы теории флуктуаций	6	4		4								6	Домашнее задание (самостоятельное решение задач).
20	Экзамен	6									0.3	35.7		Экзамен
	Итого			68.0	68.0	0.0	0.0	0.0	0.6	62.4	53.0			

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Лекции

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1	Основные понятия и базовые принципы термодинамики	<p>Термодинамические системы, их основные свойства и способы описания. Характер термодинамических законов. Основные определения и понятия термодинамического описания системы (изолированная система, замкнутая система, тепловое равновесие). Макроскопические параметры. Равновесное состояние. Виды параметров, определяющих состояние систем.</p> <p>Постулаты термодинамики. Первый постулат термодинамики. Температура. Нулевое начало термодинамики. Второй постулат термодинамики. Существование температуры как особой функции состояния равновесной системы.</p> <p>Термодинамическое равновесие. Равновесные и неравновесные процессы. Термодинамический процесс. Равновесный и неравновесный процесс. Время релаксации.</p>
2	Первое начало	Внутренняя энергия термодинамической системы,

	термодинамики	<p>работа и теплота. Внутренняя энергия. Количество теплоты. Работа термодинамической системы. Вычисление работы расширения системы, работы сил поверхностного натяжения, работы поляризации диэлектрика, работы намагничивания магнетика, работы деформации твердого тела.</p> <p>Термическое и калорическое уравнения состояния. Термическое и калорическое уравнения состояния для идеального газа и газа Ван- дер- Ваальса. Вириальная форма уравнения состояния. Физическое содержание первого начала термодинамики.</p>
3	Термодинамическая теория теплоемкости	<p>Определение теплоемкости. Теплоемкость как функция процесса. Термостат. Формула теплоемкости. Формула Р. Майера. Теплота изотермического изменения внешних параметров. Основные термодинамические процессы и их уравнения. Теплоемкость газов. Изопроцессы. Политропические процессы. Уравнение политропы. Теплоемкость в политропическом процессе.</p>
4	Второе и третье начала термодинамики	<p>Формулировка второго начала термодинамики. Качественная формулировка второго начала термодинамики: невозможность преобразования теплоты в работу без компенсации. Вечный двигатель 2 рода.</p> <p>Обратимые и необратимые процессы. Понятие обратимого термодинамического процесса в узком и широком смысле. Примеры необратимых процессов.</p> <p>Циклические процессы. Обратимый цикл Карно. Теоремы Карно. Определение циклического процесса. Принцип работы тепловой машины. Термический КПД. Обратимый цикл Карно, вывод его КПД. Теоремы Карно.</p> <p>Энтропия. Количественная формулировка второго начала термодинамики. Определение энтропии. Свойства энтропии. Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов. Вычисление энтропии в равновесных процессах.</p> <p>Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Закон возрастания энтропии. Неравенство Клаузиуса. Закон возрастания энтропии. Следствия из закона возрастания энтропии для неравновесных систем: изменение энтропии при диффузии газов, при теплопроводности, трении.</p> <p>Пределы применимости второго начала термодинамики.</p> <p>Третье начало термодинамики. Формулировка третьего начала термодинамики (теоремы Нернста). Некоторые следствия из третьего начала термодинамики.</p>

5	Методы термодинамики	<p>Метод круговых процессов. Метод круговых процессов (циклов). Применение метода циклов для решения некоторых задач термодинамики.</p> <p>Термодинамические потенциалы. Метод термодинамических потенциалов.</p> <p>Термодинамические потенциалы (характеристические функции) и их полные дифференциалы: внутренняя энергия, свободная энергия Гельмгольца, энтальпия, энтропия, термодинамический потенциал Гиббса, их физический смысл. Связь между частными и смешанными производными. Соотношения Максвелла.</p> <p>Применение метода термодинамических потенциалов для определения соотношений между механическими и термическими характеристиками макроскопических систем.</p> <p>Термодинамические потенциалы сложных систем с переменным числом частиц. Химический потенциал. Большой термодинамический потенциал. Основное уравнение термодинамики для сложных систем с переменным числом частиц.</p>
6	Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем	<p>Общие условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. Принцип виртуальных перемещений. Общее условие равновесия различных систем (изолированная система, система в термостате при постоянном объеме, система в термостате при постоянном внешнем давлении и др.). Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы. Условия устойчивости равновесия однородной системы.</p> <p>Принцип Ле- Шателье – Брауна. Формулировка принципа Ле- Шателье – Брауна. Примеры применения принципа Ле- Шателье – Брауна для анализа устойчивости равновесия различных термодинамических систем.</p>
7	Фазовые переходы	<p>Классификация фазовых переходов по Эренфесту. Фазы и фазовые превращения. Классификация фазовых переходов по Эренфесту. Фазовые переходы 1 рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Примеры фазовых переходов 1 рода. Удельная теплота перехода. Вывод дифференциального уравнения Клапейрона-Клаузиуса. Применение уравнения Клапейрона-Клаузиуса к описанию фазового перехода «жидкость-пар». Уравнение кривой испарения. Фазовые переходы 2 рода. Уравнения Эренфеста. Определение фазового перехода 2 рода, примеры. Вывод уравнений Эренфеста. Физический смысл уравнений Эренфеста. Пример: термодинамика сверхпроводящего перехода.</p>
8	Термодинамика различных	Охлаждение газа при необратимом и обратимом

	физических систем	<p>адиабатных расширениях. Эффект Джоуля-Томсона. Вывод дифференциального коэффициента Джоуля-Томсона. Температура инверсии, ее связь с постоянными Ван-дер-Ваальса и критической температурой. Охлаждение газа при обратимом адиабатном расширении.</p> <p>Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Основное уравнение термодинамики для диэлектриков и магнетиков.</p> <p>Магнестрикция, электрострикция. Пьезоэффект. Магнитное (магнитокалорический эффект) и ядерное охлаждения.</p> <p>Термодинамика излучения. Понятие теплового излучения. Коэффициенты пропускания, поглощения и отражения. Абсолютно черное тело, зеркальное (белое) тело, абсолютно прозрачное тело. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Термическое и калорическое уравнение состояния и энтропия равновесного излучения. Термодинамические потенциалы и условие устойчивости равновесного излучения.</p> <p>Термодинамика плазмы. Определение плазмы. Условие полной ионизации. Внутренняя энергия плазмы. Термическое уравнение состояния плазмы.</p>
9	Термодинамика необратимых процессов	<p>Исходные положения и основные уравнения термодинамики необратимых процессов. Основные уравнения термодинамики линейных необратимых процессов (теплопроводность, диффузия, вязкость). Кинетические коэффициенты. Уравнения баланса и законы сохранения.</p> <p>Принцип Кюри. Диссипативные функции Онзагера. Принцип симметрии Кюри. Диссипативные функции Онзагера. Вариационные принципы термодинамики необратимых процессов. Принцип наименьшего рассеяния энергии Онзагера. Принцип минимума производства энтропии Пригожина. Вариационный принцип Онзагера. Устойчивость стационарных состояний. Принцип Ле-Шателье в неравновесной термодинамике.</p>
10	Введение в статистическую физику	<p>Общие вопросы теории. Законы статистической физики. Статистическая физика, как наука, опирающаяся на молекулярно – кинетическую теорию. Этапы развития статистической физики. Элементы теории вероятностей, реализуемые в статистической физике. 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</p>

		<p>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. Смысл $N!$ в знаменателе выражения для числа состояний в квазиклассическом случае.</p>
11	Каноническое распределение (распределение Гиббса)	<p>Канонические распределения (распределение Гиббса). Вывод канонического распределения. Запись формул канонического распределения для классического и квантового случая. График зависимости вероятности энергии от энергии. 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. Статистический смысл закона возрастания энтропии. Третье начало термодинамики с точки зрения статистической физики. Выражение свободной энергии Гельмгольца через статистическую сумму. Значение этого выражения в практических применениях статистической физики.</p>
12	Идеальный газ	<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 средней скорости – квадратичной 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>
13	Методы статистической физики при расчете термодинамических функций идеального газа	<p>Выражение статистической суммы идеального газа через статистическую сумму молекул. Возможность приближенного разделения уровней энергии молекул на составляющие. 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</p>

		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 и возможность выражения при не очень высоких температурах электронной статистической суммы основного состояния. Формула для энтропии одноатомного идеального газа (формула Сакура - Тетроде) и сравнение расчета энтропии на этой формуле с опытом для некоторых газов. Выражения для констант равновесия химических газовых реакций через молекулярные статистические суммы. Применение этих формул для расчетов степени ионизации газов. Формула Саха.
14	Неидеальный газ	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 сомножитель в выражении статистической суммы, отражающий взаимодействие молекул. Метод Майера разложения конфигурационного интеграла в ряд. Расчет конфигурационного интеграла в первом приближении метода Майера, групповые интегралы. Представление о диаграммной технике вычисления групповых интегралов. Термодинамические величины классической плазмы. Уравнения самосогласованного электрического поля электронов и ионов. Метод Дебая - Хюккеля. Дебаевский радиус. Метод корреляционных функций.
15	Распределение Ферми и Бозе	Распределение Больцмана для числа частиц больших числа частиц в данном квантовом состоянии. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Понятие о вырожденном и невырожденном газе. Неравновесные бозе- и ферми-газы. Основные свойства бозе- и ферми-газов. Вырожденный электронный газ. Теплоемкость вырожденного электронного газа. Магнетизм электронного газа. Сильные и слабые поля. Вырожденный бозе-газ. Статистика фотонов.
16	Конденсированные тела	Твердые тела. Высокие и низкие температуры. Формула Дебая. Квантовая жидкость. Сверхтекучесть. Вырожденный бозе-газ с взаимодействием.
17	Сверхпроводимость	Куперовская неустойчивость. Сверхтекучий ферми-газ. Энергетический спектр. Сверхтекучий ферми-газ. Термодинамические величины. Учет

		Кулоновского отталкивания. Теория Гинзбурга – Ландау.
18	Основы теории флуктуаций	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 одного 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.

5.2. Практические занятия

Наименование темы	Содержание темы
Основные понятия и базовые принципы термодинамики	Решение задач: Макроскопические параметры. Равновесное состояние. Виды параметров, определяющих состояние систем. Внутренняя энергия. Количество теплоты. Работа термодинамической системы. Термодинамические процессы.
Первое начало термодинамики	Решение задач: Вычисление работы расширения системы, работы сил поверхностного натяжения, работы поляризации диэлектрика, работы намагничивания магнетика, работы деформации твердого тела. Уравнения состояния для идеального газа и газа Ван- дер- Ваальса. Первое начало термодинамики.
Термодинамическая теория теплоемкости	Решение задач: Теплоемкость как функция процесса. Формула теплоемкости. Формула Р.Майера. Изопроцессы. Уравнение политропы. Теплоемкость в изопроцессах.
Второе и третье начала термодинамики	Решение задач: Второе начало термодинамики. Качественная формулировка второго начала термодинамики. Примеры необратимых процессов. Определение циклического процесса. Термический КПД. Обратимый цикл Карно. Теорема Карно. Определение и свойства энтропии. Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов. Вычисление энтропии в равновесных процессах. Закон возрастания энтропии. Неравенство Клаузиуса. Третье начало термодинамики.
Методы термодинамики	Решение задач: Применение метода циклов для решения некоторых задач термодинамики. Термодинамические потенциалы. Метод термодинамических потенциалов. Термодинамические потенциалы сложных систем с

	переменным числом частиц.
Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем	Решение задач: Общие условия равновесия и устойчивости термодинамических систем. Принцип Ле- Шателье – Брауна. Примеры применения принципа Ле- Шателье – Брауна для анализа устойчивости равновесия различных термодинамических систем.
Фазовые переходы	Семинарское занятие: 1. Классификация фазовых переходов по Эренфесту. Фазы и фазовые превращения. Классификация фазовых переходов по Эренфесту. 2. Фазовые переходы 1 рода. Уравнение Клапейрона- Клаузиуса. Примеры фазовых переходов 1 рода. Фазовые переходы 2 рода. Уравнения Эренфеста. Пример: термодинамика сверхпроводящего перехода.
Термодинамика различных физических систем	Решение задач: Эффект Джоуля- Томсона. Температура инверсии, ее связь с постоянными Ван-дер- Ваальса и критической температурой. Охлаждение газа при обратимом адиабатном расширении.
Термодинамика необратимых процессов	Семинарское занятие: 1. Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Основное уравнение термодинамики для диэлектриков и магнетиков. 2. Магнестрикция, электрострикция. Решение задач: Термодинамика излучения. Законы теплового излучения. Закон Кирхгофа. Закон Стефана- Больцмана. Термическое и калорическое уравнение состояния и энтропия равновесного излучения. Термодинамические потенциалы и условие устойчивости равновесного излучения. Семинарское занятие: 1. Определение плазмы. Термодинамика плазмы. 2. Условие полной ионизации. Внутренняя энергия плазмы. 3. Термическое уравнение состояния плазмы.
Введение в статистическую физику	Решение задач: Задача вычислений средних значений физических величин. Фазовое пространство, плотности вероятности в классической статистической физике, вероятности состояния, матрицы плотности в квантовой статистической физике. Эргодическая гипотеза. Микроканонический ансамбль и микроканоническое распределение в квантовом и классическом случаях.
Каноническое распределение (распределение Гиббса)	Решение задач: Канонические распределения (распределение Гиббса). Первое и третье начала термодинамики с точки зрения статистической физики. Практическое применение в статистической физике значения выражения свободной энергии Гельмгольца.
Идеальный газ	Решение задач: Идеальный газ. Вычисление его

	макроскопических характеристик.
Методы статистической физики при расчете термодинамических функций идеального газа	Решение задач: Применение распределения Максвелла для расчета средне – квадратичных скоростей молекул идеального газа. Идеальный газ с учетом квантовых эффектов. Двухатомный, многоатомный газы. 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 и возможность выражения при не очень высоких температурах электронной статистической суммы основного состояния.
Неидеальный газ	Решение задач: Неидеальные газы. Вывод уравнения Ван-дер-Ваальса. Формула Леннард-Джонса. Расчет конфигурационного интеграла в первом приближении метода Майера, групповые интегралы. Примеры применения распределения Больцмана: статистическая совокупность линейных гармонических осцилляторов, электрическое поле около примесного иона в полупроводнике.
Распределение Ферми и Бозе	Решение задач: Ферми- газ элементарных частиц. Металлы и полупроводники. Вырожденный электронный газ. Бозе-газ элементарных частиц. Черное излучение.
Конденсированные тела	Решение задач: Статистика твердого состояния. Теория теплоемкости Дебая.
Сверхпроводимость	Семинарское занятие: 1. Энергетический спектр. 2. Сверхтекучий ферми- газ. 3. Термодинамические величины.
Основы теории флуктуаций	Решение задач: Флуктуации основных термодинамических величин. Броуновское движение. Распределение Гаусса для одного или нескольких величин.

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Трудоемкость в академических часах
1	Основные понятия и базовые принципы термодинамики	Самостоятельное изучение. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	1
2	Первое начало термодинамики	Самостоятельное изучение. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	1
3	Термодинамическая теория теплоемкости	Самостоятельное изучение. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	1

		работы (самостоятельное решение задач).	
4	Второе и третье начала термодинамики	Самостоятельное изучение. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач). Подготовка к контрольной работе.	1
5	Методы термодинамики	Изучение теоретического материала. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	2
6	Условия равновесия и устойчивости термодинамических систем	Изучение теоретического материала. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	2
7	Фазовые переходы	Изучение теоретического материала (подготовка по вопросам семинара). Составление конспекта.	2
8	Термодинамика различных физических систем	Изучение теоретического материала. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	2
9	Термодинамика необратимых процессов	Изучение теоретического материала (подготовка по вопросам семинара). Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	1
10	Введение в статистическую физику	Изучение теоретического материала. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	4
11	Каноническое распределение (распределение Гиббса)	Изучение теоретического материала. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	4
12	Идеальный газ	Изучение теоретического материала. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	4
13	Методы статистической физики при расчете термодинамических функций идеального газа	Изучение теоретического материала. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач). Подготовка к контрольной работе.	4
14	Неидеальный газ	Изучение теоретического материала. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	4
15	Распределение Ферми и Бозе	Изучение теоретического материала. Составление конспекта. Выполнение	4

		домашней работы (самостоятельное решение задач).	
16	Конденсированные тела	Изучение теоретического материала. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	4
17	Сверхпроводимость	Изучение теоретического материала (подготовка по вопросам семинара). Составление конспекта.	6
18	Основы теории флуктуаций	Изучение теоретического материала. Составление конспекта. Выполнение домашней работы (самостоятельное решение задач).	6

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки реализация компетентностного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий. При изложении лекционного материала используются аудитории, оснащенные мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской. На лекционных и практических занятиях применяются следующие интерактивные методы: презентация с использованием вспомогательных средств, проблемная лекция, метод заданий, дискуссия, метод дебатов.

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, а так же методические материалы, определяющие процедуры оценивания, знаний, умений и навыков отражены в фонде оценочных средств по дисциплине «Термодинамика и статистическая физика».

Примерные вопросы к экзамену

Семестр 5 (раздел «Термодинамика»)

1. Термодинамическая система, ее параметры и равновесие (основные понятия). Постулаты термодинамики. Температура.
2. Внутренняя энергия термодинамической системы. Работа и теплота.
3. Примеры расчета работы термодинамической системы в различных процессах (расширение газа, растяжение пленки, поляризация диэлектрика, намагничивание магнетика).
4. Термическое и калорическое уравнения состояния. Термическое уравнение состояния для идеального и реального газов. Вириальная форма уравнения состояния.
5. Первое начало термодинамики. Физический смысл первого начала.
6. Определение теплоемкости. Теплоемкость простых и сложных систем. Уравнение Майера. Теплота изотермического изменения внешних параметров.
7. Основные термодинамические процессы и их уравнения.
8. Второе начало термодинамики, сущность и основные определения. Обратимые и необратимые процессы. Примеры.
9. Циклы. Обратимый цикл Карно, расчет термического КПД цикла Карно. Теорема Карно.
10. Количественная формулировка второго начала термодинамики. Энтропия. Свойства энтропии.
11. Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов. Вычисление

энтропии в равновесных процессах.

12. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Неравенство Клаузиуса. Следствия из закона возрастания энтропии для неравновесных систем: изменение энтропии при диффузии, теплопроводности.

13. Пределы применимости второго начала термодинамики.

14. Третье начало термодинамики. Недостижимость абсолютного нуля температур.

15. Методы термодинамики. Метод круговых процессов. Пример: применение метода круговых процессов для определения зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры.

16. Термодинамические потенциалы и их дифференциалы (внутренняя энергия, энергия Гельмгольца, энергия Гиббса, энтальпия), физический смысл.

17. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости для различных систем.

18. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы.

19. Условия устойчивости равновесия однородной системы. Принцип Ле-Шателье – Брауна.

20. Классификация фазовых переходов по Эренфесту. Фазовые переходы I рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Пример: применение уравнения Клапейрона – Клаузиуса к описанию фазового перехода «жидкость - пар»; вывод уравнения кривой испарения $P=P(T)$.

21. Фазовые переходы II рода. Уравнения Эренфеста.

22. Охлаждение газа при необратимом адиабатическом расширении. Эффект Джоуля-Томсона. Дифференциальный коэффициент Джоуля-Томсона. Температура инверсии. Возможности охлаждения газа при обратимом адиабатическом расширении.

23. Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Термодинамика теплового излучения.

Примерные вопросы к экзамену

Семестр 6 (раздел «Статистическая физика»)

1. Макроскопические и микроскопические величины, характеризующие системы, состоящие из большого числа частиц. Задачи термодинамики и статистической физики.

2. Задачи статистической физики. Понятие фазового пространства и плотности вероятности.

3. Ансамбли в статистической физике. Микроканонический ансамбль и микроканоническое распределение. Классический и квантовый случаи.

4. Каноническое распределение. Его вывод. Каноническое распределение в классической и квантовой статистике.

5. Первое начало термодинамики с точки зрения статистической физики. Выражения для внутренней энергии. Работы и количества тепла в статистической физике.

6. Энтропия в статистической физике. Второе начало термодинамики точки зрения статистической физики.

7. Энтропия в квазиклассической статистической физике. Число состояний в квазиклассическом случае.

8. Статистическая сумма. Квантовый и классический случаи. Связь свободной энергии Гельмгольца и статической суммы.

9. Применение канонического распределения к идеальному газу. Распределение молекул по скоростям и по координатам.

10. Распределение Максвелла. Две формы распределения Максвелла. Молекулы в поле силы тяжести. Барометрическая формула.

11. Выражение статистической суммы идеального газа через статистическую сумму молекул. Уровни энергии молекул.

12. Теорема о распределении энергии по степеням свободы. Классическая теория теплоемкости идеального газа. Ее недостатки.

13. Задачи расчета поступательной, вращательной и колебательной составляющих

статистических сумм молекул.

14. Расчет колебательной составляющей статистической суммы гармонического осциллятора и его средней энергии.

15. Выражение констант равновесия химических реакций в идеальном газе через статистические суммы.

16. Проблема учета взаимодействий при расчете термодинамических функций неидеального газа. Метод Майера. Связь вириальных коэффициентов с групповыми интегралами.

17. Статистическая физика открытых систем. Большое каноническое распределение и большая статистическая сумма.

18. Применение большого канонического распределения для определения среднего числа частиц в открытой системе. Выражение для давления через большую статистическую сумму.

19. Квантовые распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна для идеального газа. Распределение Больцмана.

20. Типы кристаллических решеток. Закон Дюлонга и Пти. Область применения этого закона.

21. Понятие о функции распределения частот в твердом теле. Расчет распределения в одномерном, двумерном и трехмерном кристаллах в приближении Дебая.

22. Основы теории Дебая теплоемкости твердых тел. Определение дебаевской температуры. Связь дебаевской температуры и скорости распространения волн в кристаллах.

23. Основы теории Борна-Кармана расчета в кристаллической решетке на примере одномерного кристалла.

24. Электроны в металле. Приближение свободных электронов, как Ферми-частиц, движущихся внутри потенциального ящика в теории металлов. Импульс Ферми и энергии Ферми.

25. Основы зонной теории проводимости твердых тел. Зависимость сопротивления полупроводников от температуры.

26. Основы теории флуктуаций физических величин.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) литература

1. Ефремов, Ю. С. Статистическая физика и термодинамика : учебное пособие для вузов / Ю. С. Ефремов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 209 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05152-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/492840> (дата обращения: 21.03.2022).

2. Бондарев, Б. В. Курс общей физики в 3 кн. Книга 3: термодинамика, статистическая физика, строение вещества : учебник для бакалавров / Б. В. Бондарев, Н. П. Калашников, Г. Г. Спирин. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 369 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-1755-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/425491> (дата обращения: 08.12.2021).

3. Новиков, И. И. Термодинамика : учебное пособие / И. И. Новиков. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 592 с. — ISBN 978-5-8114-0987-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210323> (дата обращения: 21.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Ансельм, А. И. Основы статистической физики и термодинамики : учебное пособие / А. И. Ансельм. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-0756-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.

— URL: [https:// e.lanbook.com/ book/210215](https://e.lanbook.com/book/210215) (дата обращения: 21.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование	Описание
1	https://elibrary.ru/	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - российский информационно-аналитический портал в области науки, технологии, медицины и образования
2	https://www.iprbookshop.ru/	Электронно-библиотечная система IPRbooks – научно-образовательный ресурс для решения задач обучения в России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБС IPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу. Контент ЭБС IPRbooks отвечает требованиям стандартов высшей школы, СПО, дополнительного и дистанционного образования. ЭБС IPRbooks в полном объеме соответствует законодательства РФ в сфере образования.
3	https://e.lanbook.com	Электронная библиотечная система «Издательства Лань», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки, химия
4	Электронно-библиотечная система ЮРАЙТ: https://urait.ru/	Виртуальный читальный зал литературы по многим отраслям знаний. Фонд электронной библиотеки составляет более 5000 наименований и постоянно пополняется новинками, в большинстве своем это учебники и учебные пособия для всех уровней профессионального образования от ведущих научных школ с соблюдением требований новых ФГОС ВО.

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№	Наименование	Описание
1	http://www.edu.ru/index.php	Российское образование. Федеральный портал.
2	https://uisrussia.msu.ru/	Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ).
3	https://www.runnet.ru	RUNNet (Russian UNiversity Network) - крупнейшая в России научно-образовательная телекоммуникационная сеть, обладающая протяженной высокоскоростной магистральной инфраструктурой и международными каналами, обеспечивающими интеграцию с зарубежными научно-образовательными сетями (National Research and Education Networks, NREN) и с Интернет.
4	http://dxdy.ru/fizika-f2.html	Научный форум. Физика, Математика, Химия, Механика и Техника. Обсуждение теоретических вопросов, входящих в стандартные учебные курсы. Дискуссионные темы физики: попытки опровержения классических теорий и т.п. Обсуждение нетривиальных и нестандартных учебных задач. Полезные ресурсы сети, содержащие материалы по физике.

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Занятия по дисциплине «Термодинамика и статистическая физика» проводятся в

специальных помещениях, представляющих собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам.

Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечным системам и к электронной информационно-образовательной среде университета.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета. На занятиях применяется следующее техническое оборудование: ПЭВМ на базе процессора Intel Pentium, проектор.