

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Наумова Наталия Александровна

Должность: Ректор

Дата подписания: 10.06.2025 10:04:11

Уникальный программный ключ

6b5279da4e034bffa79172803da5b7b558c5932

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ»

(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ)

Физико-математический факультет

Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологии

Согласовано

деканом физико-математического факультета

«19» марта 2025 г.

/Кулешова Ю.Д./

Рабочая программа дисциплины

Термодинамика

Направление подготовки

03.03.02 Физика

Квалификация

Бакалавр

Форма обучения

Очная

Согласовано учебно-методической комиссией
физико-математического факультета

Протокол «19» марта 2025 г. № 7

Председатель УМКом

/Кулешова Ю.Д./

Рекомендовано кафедрой
фундаментальной физики и
нанотехнологии

Протокол от «11» марта 2025 г. № 11

Зав. кафедрой

/Холина С.А./

Москва

2025

Автор-составитель:

Кузнецов Михаил Михайлович, доктор физико-математических наук,
профессор кафедры фундаментальной физики и нанотехнологии

Рабочая программа дисциплины «Термодинамика» составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 07.08.2020 г. № 891.

Дисциплина входит в модуль «Теоретическая физика» обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» и является обязательной для изучения.

Год начала подготовки (по учебному плану) 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1. Планируемые результаты обучения	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	4
3. Объём и содержание дисциплины	4
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся	8
5. Фонд оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.....	11
6. Учебно-методическое и ресурсное обеспечение дисциплины	17
7. Методические указания по освоению дисциплины	18
8. Информационные технологии для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	18
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины	18

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

1.1 Цель и задачи дисциплины

Цели дисциплины «Термодинамика»: ознакомление студентов с концептуальными основами дисциплины «Термодинамика» как современной комплексной фундаментальной науки; формирование естественнонаучного мировоззрения на основе знания особенностей, основных принципов и закономерностей развития Вселенной; интеллектуальное развитие студентов через систему классических и современных естественнонаучных концепций.

Задачи дисциплины: ознакомить студентов с основными проблемами, закономерностями, историей и тенденциями развития термодинамики, в которых раскрываются фундаментальные научные проблемы современной науки; сформировать понимание принципов преемственности, соответствия и непрерывности в изучении природы; дать представление о революциях в физике и смене научных мировоззрений как ключевых этапах развития естествознания; сформировать понимание сущности фундаментальных законов природы, определяющих облик современного естествознания, к которым сводится множество законов физики; сформировать знания, необходимые для изучения смежных дисциплин; расширить кругозор, сформировать научное мышление и научное мировоззрение, основанное на синтезе естественнонаучных и гуманитарных концепций.

1.2. Планируемые результаты обучения

В результате освоения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции:

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

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Термодинамика» входит в модуль «Теоретическая физика» обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» и является обязательной для изучения и является обязательной для изучения.

Содержит описание макросистем термодинамическим способом, устанавливает связь между величинами, описывающими поведения микрочастиц (атомов и молекул), и термодинамическими потенциалами. Основу для изучения дисциплины составляет программа по общему курсу физики, разделам теоретической физики: «Теоретическая механика», «Механика сплошных сред», «Электродинамика», «Квантовая теория», «Физика конденсированного состояния».

Знание современных фундаментальных научных положений естествознания, его мировоззренческих и методологических выводов является необходимым элементом подготовки специалистов в любой области деятельности.

Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, дадут возможность студентам осваивать такие дисциплины учебного плана, как «Физика макромолекул и полимеров» и «Физика жидких кристаллов», на качественно более высоком уровне.

3. ОБЪЁМ И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Объём дисциплины

Показатель объёма дисциплины	Форма обучения очная
Объём дисциплины в зачётных единицах	5
Объём дисциплины в часах	180
Контактная работа:	92,3

Лекции	30
Практические занятия	60
из них, в форме практической подготовки	60
Контактные часы на промежуточную аттестацию:	2,3
Экзамен	0,3
Предэкзаменационная консультация	2
Самостоятельная работа	78
Контроль	9,7

Формой промежуточной аттестации является экзамен в 6 семестре.

3.2. Содержание дисциплины

Наименование разделов (тем) дисциплины с кратким содержанием	Количество часов		
	Лекции	Практические занятия	
		Общее кол-во	из них, в форме практической подготовки
Тема 1. Основные понятия и термины. Макросистемы. Термодинамический способ описания макросистемы. Термодинамические параметры. Равновесные и неравновесные системы Понятие макросистемы. Статистическое распределение. Статистическая независимость. Статистическая матрица. Температура. Макроскопическое движение. Адиабатический процесс. Давление. Работа и количество тепла. Тепловая функция. Свободная энергия и термодинамический потенциал. Соотношения между производными термодинамических величин. Термодинамическая шкала температур	3	4	4
Тема 2. Энтропия, её физический смысл. Закон возрастания энтропии и его физическая интерпретация Распределение вероятностей по энергии. Квантовые состояния. Статистический вес. Связь статистического веса со средней энергией. Энтропия и термодинамическая вероятность. Связь энтропии со статистическим весом. Связь энтропии с функцией распределения. Закон возрастания энтропии и его физическая интерпретация	4	4	4
Тема 3. Условия равновесия макросистемы во внешнем поле. Идеальный газ. Распределение Больцмана Распределение Больцмана. Распределение Больцмана в классической статистике. Неравновесный идеальный газ. Свободная энергия больцмановского идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Распределение средней энергии идеального газа по степеням свободы. Внутренняя энергия	4	4	4

Тема 4. Работа и количество тепла. Первое начало термодинамики Понятие элементарной работы. Условие полного дифференциала. Внутренняя энергия как функция состояния. Количество теплоты и теплоёмкость. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка первого начала термодинамики. Связь между теплоёмкостями при постоянном давлении и постоянном объёме. Применение первого начала термодинамики к некоторым термодинамическим процессам	3	4	4
Тема 5. Второе начало термодинамики. Объединённая форма первого и второго начал термодинамики Формулировка второго начала термодинамики. Теорема Карно. Абсолютная термодинамическая шкала температур. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Статистический характер второго начала термодинамики	4	6	6
Тема 6. Энтальпия. Свободная энергия макросистемы. Термодинамические потенциалы Внутренняя энергия как термодинамическая функция. Свободная энергия. Энтальпия. Термодинамический потенциал Гиббса. Химический потенциал. Соотношения взаимности. Свободная энергия и максимальная работа. Уравнение Гиббса – Гельмгольца. Свободная энергия равновесных систем. Тепловая функция. Эффект Джоуля – Томсона	3	9	9
Тема 7. О направлении изменения термодинамических потенциалов при необратимых процессах. Давление. Уравнение адиабаты Обратимые и необратимые процессы. Направление изменения термодинамических потенциалов при необратимых процессах. Давление и его связь со свободной энергией. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты	3	9	9
Тема 8. Химический потенциал, его физический смысл Зависимость функции распределения от числа частиц. Зависимость термодинамического потенциала от числа частиц и энергии. Распределение Гиббса с переменным числом частиц. Химический потенциал, его физический смысл	3	10	10
Тема 9. Термодинамика открытых систем Определение открытой системы. Особенности открытых систем. Энтропия открытых систем. Жизнь как открытая система. Открытые системы и второе начало термодинамики	3	10	10
Итого	30	60	60

ПРАКТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА

Тема	Задание на практическую подготовку	количество часов
Тема 1. Основные понятия и термины. Макросистемы. Термодинамический способ описания макросистемы. Термодинамические параметры. Равновесные и неравновесные системы	Понятие макросистемы. Статистическое распределение. Статистическая независимость. Статистическая матрица. Температура. Макроскопическое движение. Адиабатический процесс. Давление. Работа и количество тепла. Тепловая функция. Свободная энергия и термодинамический потенциал. Соотношения между производными термодинамических величин. Термодинамическая шкала температур	4
Тема 2. Энтропия, её физический смысл. Закон возрастания энтропии и его физическая интерпретация	Распределение вероятностей по энергии. Квантовые состояния. Статистический вес. Связь статистического веса со средней энергией. Энтропия и термодинамическая вероятность. Связь энтропии со статистическим весом. Связь энтропии с функцией распределения. Закон возрастания энтропии и его физическая интерпретация	4
Тема 3. Условия равновесия макросистемы во внешнем поле. Идеальный газ. Распределение Больцмана	Распределение Больцмана. Распределение Больцмана в классической статистике. Неравновесный идеальный газ. Свободная энергия больцмановского идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Распределение средней энергии идеального газа по степеням свободы. Внутренняя энергия	4
Тема 4. Работа и количество тепла. Первое начало термодинамики	Понятие элементарной работы. Условие полного дифференциала. Внутренняя энергия как функция состояния. Количество теплоты и теплоёмкость. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка первого начала термодинамики. Связь между теплоёмкостями при постоянном давлении и постоянном объёме. Применение первого начала термодинамики к некоторым термодинамическим процессам	4
Тема 5. Второе начало термодинамики. Объединённая форма первого и второго начал термодинамики	Формулировка второго начала термодинамики. Теорема Карно. Абсолютная термодинамическая шкала температур. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Статистический характер второго начала термодинамики	6
Тема 6. Энтальпия. Свободная энергия макросистемы.	Внутренняя энергия как термодинамическая функция. Свободная энергия.	9

Термодинамические потенциалы	Энтальпия. Термодинамический потенциал Гиббса. Химический потенциал. Соотношения взаимности. Свободная энергия и максимальная работа. Уравнение Гиббса – Гельмгольца. Свободная энергия равновесных систем. Тепловая функция. Эффект Джоуля – Томсона	
Тема 7. О направлении изменения термодинамических потенциалов при необратимых процессах. Давление. Уравнение адиабаты	Обратимые и необратимые процессы. Направление изменения термодинамических потенциалов при необратимых процессах. Давление и его связь со свободной энергией. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты	9
Тема 8. Химический потенциал, его физический смысл	Зависимость функции распределения от числа частиц. Зависимость термодинамического потенциала от числа частиц и энергии. Распределение Гиббса с переменным числом частиц. Химический потенциал, его физический смысл	10
Тема 9. Термодинамика открытых систем	Определение открытой системы. Особенности открытых систем. Энтропия открытых систем. Жизнь как открытая система. Открытые системы и второе начало термодинамики	10

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Темы для самостоятельного изучения	Изучаемые вопросы	Количество часов	Формы самостоятельной работы	Методические обеспечения	Формы отчетности
Макросистемы. Термодинамические способы описания макросистемы. Равновесные и неравновесные системы	Статистическое распределение. Статистическая независимость. Статистическая матрица. Температура. Макроскопическое движение. Термодинамическая шкала температур. Адиабатический процесс. Термодинамические величины	10	Работа с литературой и интернетом, консультации	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. 2010. И.Ф. Щеголев. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. 2008. А.Н. Голов. Сборник задач по статистической физике. 2012. Физический энциклопедический словарь	Конспект, решённые задачи
Энтропия, её физический смысл. Закон	Распределение вероятностей по энергии. Квантовые	10	Работа с литературой и ин-	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. 2010.	Конспект, решён

возрастания энтропии и его физическая интерпретация	состояния. Энтропия и термодинамическая вероятность. Связь энтропии со статистическим весом. Связь энтропии с функцией распределения. Закон возрастания энтропии и его физическая интерпретация.		тернетом, консультации	И.Ф. Щеголев. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. 2008. А.Н. Голов. Сборник задач по статистической физике. 2012. Физический энциклопедический словарь	шѐнные задачи
Условия равновесия макросистемы во внешнем поле. Идеальный газ. Распределение Больцмана	Распределение Больцмана. Распределение Больцмана в классической статистике. Неравновесный идеальный газ. Свободная энергия больцмановского идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Распределение средней энергии идеального газа по степеням свободы. Внутренняя энергия	10	Работа с литературой и интернетом, консультации	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. 2010. И.Ф. Щеголев. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. 2008. А.Н. Голов. Сборник задач по статистической физике. 2012. Физический энциклопедический словарь. Х. Киракосян. Структурная физика. 2011.	Конспект, решѐнные задачи
Работа и количество тепла. Первое начало термодинамики	Понятие элементарной работы. Условие полного дифференциала. Внутренняя энергия как функция состояния. Количество теплоты и теплоѐмкость. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка первого начала термодинамики. Связь между теплоѐмкостями при постоянном давлении и постоянном объѐме. Применение первого начала термодинамики к некоторым термо-	10	Работа с литературой и интернетом, консультации	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. 2010. И.Ф. Щеголев. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. 2008. А.Н. Голов. Сборник задач по статистической физике. 2012. Физический энциклопедический словарь	Конспект, решѐнные задачи

	динамическим процессам				
Второе начало термодинамики. Объединённая форма первого и второго начал термодинамики	Формулировка второго начала термодинамики. Теорема Карно. Абсолютная термодинамическая шкала температур. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Статистический характер второго начала термодинамики	8	Работа с литературой и интернетом, консультации	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. 2010. И.Ф. Щеголев. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. 2008. А.Н. Голов. Сборник задач по статистической физике. 2012. Физический энциклопедический словарь	Конспект, решённые задачи
Энтальпия. Свободная энергия макросистемы. Термодинамические потенциалы	Внутренняя энергия как термодинамическая функция. Свободная энергия. Энтальпия. Термодинамический потенциал Гиббса. Химический потенциал. Соотношения взаимности. Свободная энергия и максимальная работа. Уравнение Гиббса – Гельмгольца. Свободная энергия равновесных систем. Тепловая функция. Эффект Джоуля – Томсона	8	Работа с литературой и интернетом, консультации	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. 2010. И.Ф. Щеголев. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. 2008. А.Н. Голов. Сборник задач по статистической физике. 2012. Физический энциклопедический словарь	Конспект, решённые задачи
О направлении изменения термодинамических потенциалов при необратимых процессах. Давление. Уравнение адиабаты	Обратимые и необратимые процессы. Направление изменения термодинамических потенциалов при необратимых процессах. Давление и его связь со свободной энергией. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты	8	Работа с литературой и интернетом, консультации	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. 2010. И.Ф. Щеголев. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. 2008. А.Н. Голов. Сборник задач по статистической физике. 2012. Физический энциклопедический словарь	Конспект, решённые задачи
Химический потенциал, его физический смысл	Зависимость функции распределения от числа частиц. Зависимость термодинамического	6	Работа с литературой и интернетом, консуль-	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. 2010. И.Ф. Щеголев. Элементы статистической ме-	Конспект, решённые

	потенциала от числа частиц и энергии. Распределение Гиббса с переменным числом частиц. Химический потенциал, его физический смысл		тации	ханики, термодинамики и кинетики. 2008. А.Н. Голов. Сборник задач по статистической физике. 2012. Физический энциклопедический словарь. А.К. Дадиванян, Д.Н. Чаусов. Ближний ориентационный порядок в растворах полимеров. 2012.	задачи
Термодинамика открытых систем	Определение открытой системы. Особенности открытых систем. Энтропия открытых систем. Жизнь как открытая система. Открытые системы и второе начало термодинамики	8	Работа с литературой и интернетом, консультации	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. 2010. И.Ф. Щеголев. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики. 2008. А.Н. Голов. Сборник задач по статистической физике. 2012. Физический энциклопедический словарь	Конспект, решённые задачи
Итого		78			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

5.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Код и наименование компетенции	Этапы формирования
ОПК-1. Способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.	1. Работа на учебных занятиях. 2. Самостоятельная работа.

5.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Оцениваемые компетенции	Уровень сформированности	Этапы формирования	Описание показателей	Критерии оценивания	Шкала оценивания
ОПК-1	Пороговый	1. Работа на учебных занятиях. 2. Самостоятельная работа.	Знать: основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости. Уметь: грамотно использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов	доклад, решение задач, домашнее задание	Шкала оценивания доклада, шкала оценивания решения

			физики, создавать модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.		задач, шкала оценивания домашнего задания
	Продвинутый	1. Работа на учебных занятиях. 2. Самостоятельная работа.	Знать: основные модели задач в рамках дисциплины с учетом их границ применимости. Уметь: грамотно использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов физики, создавать модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей. Владеть: методами использования в профессиональной деятельности базовых знаний фундаментальных разделов физики для создания моделей типовых профессиональных задач и интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей.	доклад, решение задач, домашнее задание, практическая подготовка	Шкала оценивания доклада, шкала оценивания решения задач, шкала оценивания домашнего задания, шкала оценивания практической подготовки

Шкала и критерии оценивания написания доклада

Уровни оценивания	Критерии оценивания	Баллы
Высокий (отлично)	Если студент отобразил в докладе 71-90% выбранной темы.	8-10
Оптимальный (хорошо)	Если студент отобразил в докладе 51-70% выбранной темы	5-7
Удовлетворительный	Если студент отобразил в докладе 31-50% выбранной темы	2-4
Неудовлетворительный	Если студент отобразил в докладе 0-30% выбранной темы	0-1

Шкала и критерии оценивания решения задач

Уровни оценивания	Критерии оценивания	Баллы
Высокий (отлично)	Если студент решил 71-90% от всех задач	8-10
Оптимальный (хорошо)	Если студент решил 51-70% от всех задач	5-7
Удовлетворительный	Если студент решил 31-50% от всех задач	2-4
Неудовлетворительный	Если студент решил 0-30% от всех задач	0-1

Шкала и критерии оценивания домашних работ

Уровни оценивания	Критерии оценивания	Баллы
-------------------	---------------------	-------

Высокий (отлично)	Если студент решил 71-90% от всех домашних работ	8-10
Оптимальный (хорошо)	Если студент решил 51-70% от всех домашних работ	5-7
Удовлетворительный	Если студент решил 31-50% от всех домашних работ	2-4
Неудовлетворительный	Если студент решил 0-30% от всех домашних работ	0-1

Шкала оценивания практической подготовки

Критерии оценивания	Баллы
высокая активность на практической подготовке, выполнен(ы) задачи / контрольные работы / отработан алгоритм решения задач по каждой теме	5
средняя активность на практической подготовке, выполнен(ы) задачи / контрольные работы / не полностью отработан алгоритм решения задач по каждой теме	2
низкая активность на практической подготовке, задачи / контрольные работы / не отработан алгоритм решения задач по каждой теме.	0

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

Примеры домашних заданий

1. Определить теплоёмкость C_p , изотермическую сжимаемость и коэффициент теплового расширения через потенциал Гиббса.
2. Определить термоупругий эффект $(\partial T / \partial p)_S$ системы при адиабатическом процессе. Вычислить его для идеального газа, занимающего объём V и имеющего теплоёмкость C_p .
3. Однотипные идеальные газы с одинаковыми температурой T_0 и числом атомов N находятся в сосудах разного объёма V_1 и V_2 . Определить максимальную полезную работу при их смешивании (соединении). Указание: воспользоваться формулой энтропии: $S = kN[\ln(V/N) + 1.5\ln T] + NS_0(m)$.
4. Вычислить дополнительные энергию и теплоёмкость, приобретаемую газом из N молекул с жёсткими диполями d_0 в слабом ($\epsilon d_0 \ll kT$) электрическом поле с напряжённостью ϵ .
5. Вычислить энтропию газа Ферми при низкой температуре.
6. Получить формулу Планка для теплового излучения в среде, у которой показатель преломления $n(\nu)$ зависит от частоты.
7. Получить уравнение состояния электронного газа при абсолютном нуле температуры.
8. Оценить скорость звука в алмазе, зная, что его дебаевская температура $\theta_D = 1860$ К, а постоянная решётки $d = 1.54$ Å.
9. Определить число столкновений за единицу времени электронов со стенкой сосуда, в котором находится электронный газ при абсолютном нуле температуры.
10. Вычислить полное число фотонов N в объёме V и найти уравнение адиабаты фотонного газа.

Примеры вариантов решения задач

Вариант 1

1. 1 кг двухатомного газа находится под давлением $p = 8 \cdot 10^4$ Па и имеет плотность $\rho = 4$ кг/м³. Найти энергию теплового движения молекул газа при этих условиях.
2. Определить среднюю длину свободного пробега молекул и число соударений за 1 с, происходящих между всеми молекулами кислорода, находящегося в сосуде ёмкостью 2 л при температуре 27 °С и давлении 100 кПа.

3. Какова удельная теплоёмкость при постоянном объёме смеси двух газов, если массы первого газа m_1 , масса второго газа m_2 , величины удельных теплоёмкостей каждого газа равны: c_{v1} и c_{v2} ?

4. До какой температуры нагреется газ, содержащийся в баллоне объёмом V при давлении p_1 и температуре T_1 , если ему сообщить количество теплоты Q ?

5. В жилой комнате было холодно. После того как затопили батареи, температура воздуха повысилась на $\Delta t = 20^\circ\text{C}$. Объём комнаты $V = 150\text{ м}^3$. Как изменилась внутренняя энергия воздуха, находящегося в комнате?

Вариант 2

1. Чему равна наиболее вероятная скорость движения молекул кислорода при температуре $T = 273\text{ К}$.

2. Горячая вода некоторой массы отдаёт теплоту холодной воде такой же массы и температуры их становятся одинаковыми. Показать, что энтропия при этом увеличивается.

3. Определить количество теплоты, которое сообщено 2 кг гелия при постоянном объёме, если его температура повысилась на 100 К. На сколько изменилась внутренняя энергия газа и какая работа была совершена им?

4. С какой скоростью должны лететь две мухи навстречу друг другу, чтобы после столкновения от них ничего не осталось?

5. 64 маленькие капельки ртути сливаются в одну каплю. На сколько градусов повысится температура большой капли по сравнению с температурой маленьких капелек? Радиус каждой маленькой капельки – 1 мм.

Примерные темы для доклада

1. Нулевое начало термодинамики. Температура. Газовая температура.
2. Внутренняя энергия. Работа и теплота. Первое начало термодинамики.
3. Первое начало термодинамики в дифференциальной форме записи.
4. Уравнение состояния. Уравнение состояния идеального газа.
5. Опыт Джоуля. Внутренняя энергия идеального газа. Работа при изотермическом изменении объёма идеального газа.
6. Теплоёмкость термодинамической системы. Теплоёмкость при постоянном объёме и постоянном давлении.
7. Равновесный квазистатический процесс. Работа при изменении объёма системы. Адиабатический и изотермический процессы.
8. Адиабатические процессы в газах. Уравнение адиабаты идеального газа.
9. Второе начало термодинамики. Формулировки Кельвина и Клаузиуса.
10. Цикл Карно.
11. Первая теорема о циклах.
12. Абсолютная термодинамическая температура.
13. Коэффициент полезного действия цикла Карно.
14. Эквивалентность абсолютной термодинамической и газовой температур.
15. Вторая теорема о циклах.
16. Энтропия как функция состояния системы. Принцип возрастания энтропии.
17. Неравенство Клаузиуса для энтропии изолированной системы.
18. Дифференциал энтропии и связанные с ним термодинамические соотношения.
19. Энтропия идеального газа в различных переменных.
20. Аддитивность энтропии. Пример необратимого процесса в теплоизолированной системе.
21. Статистическое определение энтропии (энтропия по Больцману).
22. Изотермы реального вещества. Понятие о фазах. Метастабильные состояния.

23. Давление в системе при фазовом равновесии. Вывод формулы Клайперона-Клаузиуса.
24. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
25. Критические параметры вещества. Закон соответственных состояний.
26. Термодинамика газа Ван-дер-Ваальса (вычисление $C_p - C_v$).
27. Элементы статистической физики. Фазовая точка. Фазовый объём. Число состояний.
28. Статистический вывод энтропии идеального газа.
29. Распределение Максвелла молекул по импульсам.
30. Различные виды распределений Максвелла (за основу взять распределение Максвелла молекул по импульсам).

Задание на практическую подготовку

1. Выполнение измерений на лабораторном оборудовании.
2. Выступление с докладом по исследуемой тематике.
3. Участие в экспериментальной работе совместно с сотрудниками лабораторий.

Примерные вопросы для экзамена

1. Обратимые и необратимые процессы. Работа и теплота при обратимых и необратимых процессах, их соотношение.
2. Второе начало термодинамики. Формулировка Томсона и формулировка Клаузиуса. Идеальная тепловая машина. Цикл Карно. КПД цикла Карно.
3. Доказательство эквивалентности формулировок второго начала термодинамики по Томсону и Клаузиусу. Равенство Клаузиуса для обратимого цикла. Энтропия. Вторая теорема Карно. Неравенство Клаузиуса.
4. Основное тождество термодинамики. Цикл Карно в S, T -координатах. Энтропия идеального газа. Холодильная машина Карно и её КПД.
5. Первая теорема Карно. Сравнение КПД цикла Карно с КПД других обратимых циклов, использующих тот же нагреватель и холодильник.
6. Интегрирующий множитель и уравнение для его нахождения. Рациональная шкала температур. Термодинамический цикл Стирлинга.
7. Необратимое расширение идеального газа в пустоту, изменение энтропии в этом процессе.
8. Изменение энтропии при смешивании разных газов. Изменение энтропии при выравнивании температур идеальных газов.
9. Третье начало термодинамики. Теорема Нернста. Недостижимость нуля абсолютной температуры.
10. Энтропия и термодинамическая вероятность. Вывод формулы Больцмана для энтропии.
11. Микро- и макросостояния термодинамической системы. Статистический вес макросостояния. Вывод формулы для энтропии идеального газа на основе формулы Больцмана.
12. Статистика Больцмана. Вывод формулы распределения частиц по энергиям для статистики Больцмана.
13. Флуктуации. Среднеквадратическая флуктуация, вывод формулы для неё. Расчёт среднеквадратической флуктуации физической величины, являющейся суммой независимых идентичных флуктуирующих величин.
14. Статистика Бозе-Эйнштейна и статистика Ферми-Дирака: подсчёт статистических весов для них. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна (без вывода).
15. Флуктуации. Среднеквадратичное отклонение. Флуктуация физической величины, являющейся суммой независимых идентичных флуктуирующих величин.
16. Флуктуация плотности молекул в газе, содержащем N молекул и заполняющем объём V .

17. Полное описание термодинамической системы – три основных вида уравнений термодинамики. Уравнение Гиббса для внутренней энергии. Преобразование Лежандра. Термодинамические функции и термодинамические потенциалы: энергия Гельмгольца, энтальпия, энергия Гиббса.

18. Вид полного дифференциала для внутренней энергии, энергии Гельмгольца, энтальпии, энергии Гиббса. Определение термодинамических параметров через частные производные от термодинамических потенциалов.

19. Приращения термодинамических потенциалов при квазистационарных процессах и их физический смысл. Поведение термодинамических потенциалов при необратимых процессах.

20. Применение термодинамического метода – связь различных частных производных, связанных уравнением состояния. Термический коэффициент давления, коэффициент термического расширения, изотермический модуль всестороннего сжатия и связь между ними.

21. Основные формулы математического аппарата функций нескольких переменных, часто применяемые в термодинамике.

22. Соотношения Максвелла.

23. Калорические коэффициенты. Формулы для C_v , C_p , теплоты изотермического возрастания объёма и теплоты изотермического возрастания давления при сжатии h .

24. Калорические коэффициенты. Формулы для них, полученные из рассмотрения полного дифференциала энтропии.

25. Формулы для дифференциала энтропии в общем виде, формула для $C_p - C_v$ в общем виде.

26. Химический потенциал.

27. Подход к вычислению характеристических функций на примере потенциала Гиббса.

28. Реальные газы. Межмолекулярные взаимодействия и их классификация. Потенциал Леннарда-Джонса.

29. Газ Ван-дер-Ваальса. Учёт сил отталкивания. Учёт сил притяжения с использованием явного вида потенциала Леннарда-Джонса. Уравнение состояния газа ВДВ.

30. Подход к учёту сил притяжения в газе Ван-дер-Ваальса на основе введения в рассмотрение сферы молекулярного взаимодействия и потенциальной энергии молекул пристеночного слоя. Независимость внутримолекулярного давления от потенциала взаимодействия молекул газа со стенкой. Уравнение состояния газа ВДВ для произвольной массы газа.

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

Сопоставимость рейтинговых показателей студента по разным дисциплинам и Балльно-рейтинговой системы оценки успеваемости студентов обеспечивается принятием единого механизма оценки знаний студентов, выраженного в баллах, согласно которому 100 баллов – это полное усвоение знаний по учебной дисциплине, соответствующее требованиям учебной программы.

Максимальный результат, который может быть достигнут студентом по каждому из Блоков рейтинговой оценки – 100 баллов.

Шкала соответствия рейтинговых оценок пятибалльным оценкам:

100 – 81 баллов – «отлично» (5); 80 – 61 баллов – «хорошо» (4); 60 – 41 баллов – «удовлетворительно» (3); до 40 баллов – «неудовлетворительно».

Ответ обучающегося на экзамене оценивается в баллах с учётом шкалы соответствия рейтинговых оценок пятибалльным оценкам.

В зачётно-экзаменационную ведомость и зачётную книжку выставляются оценки

по пятибалльной шкале и рейтинговые оценки в баллах.

При получении студентом на экзамене неудовлетворительной оценки в ведомость выставляется рейтинговая оценка в баллах (<40 баллов), соответствующая фактическим знаниям (ответу) студента.

Критерии оценки знаний студентов в рамках каждой учебной дисциплины или групп дисциплин вырабатываются преподавателями согласованно на кафедрах Университета исходя из требований образовательных стандартов.

Шкала оценивания экзамена

Критерии оценивания	Баллы
Полные и точные ответы на два вопроса экзаменационного билета. Свободное владение основными терминами и понятиями курса; последовательное и логичное изложение материала курса; законченные выводы и обобщения по теме вопросов; исчерпывающие ответы на вопросы при сдаче экзамена.	21-30
Полные и точные ответы на два вопроса экзаменационного билета. Знание основных терминов и понятий курса; последовательное изложение материала курса; умение формулировать некоторые обобщения по теме вопросов; достаточно полные ответы на вопросы при сдаче экзамена.	14-20
Полный и точный ответ на один вопрос экзаменационного билета. Удовлетворительное знание основных терминов и понятий курса; удовлетворительное знание и владение методами и средствами решения задач; недостаточно последовательное изложение материала курса; умение формулировать отдельные выводы и обобщения по теме вопросов.	8-13
Полный и точный ответ на один вопрос экзаменационного билета и менее.	0 - 7

Итоговая шкала выставления оценки по дисциплине.

Оценка по 5-балльной системе	Оценка по 100-балльной системе
5 Отлично	81 – 100
4 Хорошо	61 – 80
3 Удовлетворительно	41 – 60
2 Неудовлетворительно	40 – 21
1 Не аттестован	20-0

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Основная литература

1. Белов, Г. В. Термодинамика : учебник и практикум для вузов . — 4-е изд. — Москва : Юрайт, 2023. — 572 с. — Текст : электронный. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/531189>
2. Ефремов, Ю. С. Статистическая физика и термодинамика : учебное пособие для вузов. — 2-е изд. — Москва : Юрайт, 2023. — 209 с. — Текст: электронный .— URL: <https://www.urait.ru/bcode/514993>
3. Новиков, И. И. Термодинамика : учебное пособие. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 592 с. — Текст : электронный. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210323>

6.2. Дополнительная литература

1. Ансельм, А. И. Основы статистической физики и термодинамики : учебное пособие. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 448 с. — Текст : электронный. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210215>
2. Белов, Г. В. Техническая термодинамика : учебное пособие для вузов . — 2-е изд. — Москва : Юрайт, 2023. — 252 с. — Текст : электронный. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/512471>
3. Бондарев, Б. В. Курс общей физики в 3 кн. Книга 3: термодинамика, статистическая физика, стро-

- ение вещества : учебник для вузов / Б. В. Бондарев, Н. П. Калашников, Г. Г. Спирин. — 2-е изд. — Москва : Юрайт, 2023. — 369 с. — Текст : электронный. — URL: <https://www.urait.ru/bcode/532034>
4. Галкин, А. Ф. Термодинамика. Сборник задач : учебное пособие. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 80 с. — Текст : электронный. — URL: <https://e.lanbook.com/book/209843>
 5. Молекулярная физика. Термодинамика. Конденсированные состояния : учебное пособие / Ш. А. Пиралишвили, Е. В. Шалагина, Н. А. Каляева, Е. А. Попкова. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 200 с. — Текст : электронный. — URL: <https://e.lanbook.com/book/209774>
 6. Морачевский, А. Г. Термодинамика жидких металлов и сплавов : учебное пособие / А. Г. Морачевский, Е. Г. Фирсова. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 240 с. — Текст : электронный. — URL: <https://e.lanbook.com/book/209960>

6.3. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. http://mgou.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=48&Itemid=614
2. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям.
2. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы по дисциплинам.

8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Лицензионное программное обеспечение:

Microsoft Windows

Microsoft Office

Kaspersky Endpoint Security

Информационные справочные системы:

Система ГАРАНТ

Система «КонсультантПлюс»

Профессиональные базы данных

fgosvo.ru – Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования

pravo.gov.ru - Официальный интернет-портал правовой информации

www.edu.ru – Федеральный портал Российское образование

Свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

ОМС Плеер (для воспроизведения Электронных Учебных Модулей)

7-zip

Google Chrome

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает в себя:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: учебной мебелью, доской, демонстрационным оборудованием, персональными компьютерами, проектором;
- помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде.