

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Наумова Наталия Александровна
Должность: Ректор
Дата подписания: 21.08.2026 13:02:04
Уникальный программный ключ:
6b5279da4e034bffa679172803da5b4b594e09ed

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
«18» марта 2026 г.

/Кулешова Ю.Д./

Рабочая программа дисциплины

Термодинамика

Направление подготовки
03.03.02 Физика

Профиль:
Фундаментальная физика и нанотехнологии

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Согласовано учебно-методической комиссией
физико-математического факультета
Протокол «18» марта 2026 г. № 8.
Председатель УМКом _____

/Кулешова Ю.Д./

Рекомендовано кафедрой фундаментальной
физики и нанотехнологии
Протокол от «17» февраля 2026 г. № 12
Зав. кафедрой _____

/Холина С.А./

Москва
2026

Автор-составитель:

Емельянов Владимир Анатольевич, кандидат 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 МИНОБР-НАУКИ РОССИИ от 07.08.2020 г. № 891.

Дисциплина входит в обязательную часть Блока 1 «Дисциплины (модули)» и является обязательной для изучения.

Год начала подготовки (по учебному плану) 2026

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	7
5. Фонд оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.....	Ошибка! Закладка не определена.
6. Учебно-методическое и ресурсное обеспечение дисциплины	17
7. Методические указания по освоению дисциплины	17
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

Дисциплина входит в обязательную часть Блока 1 «Дисциплины (модули)» 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		
	Лек- ции	Практические занятия	
		Общее кол-во	из них, в форме практи- ческой подго- товки
Тема 1. Основные понятия и термины термодинамики Особенности классической термодинамики. Термодинамическая (статистическая) система. Классификация термодинамических систем. Классификация термодинамических контактов. Классификация термодинамических стенок.	2	4	4
Тема 2. Нулевое начало термодинамики Термодинамическое состояние (равновесие). Свойства состояния термодинамического равновесия. Температура. Причина возникновения процессов в системе. Классификация процессов в термодинамике. Наиболее важные квазистатические процессы. Критерий равновесности процесса.	4	8	8
Тема 3. Первое начало термодинамики Внутренняя энергия. Полный дифференциал. Экстенсивные (аддитивные) и интенсивные величины. Аддитивность внутренней энергии. Термодинамические координаты. Термодинамические силы. Координаты и силы для различных воздействий. Первое начало термодинамики в дифференциальной формулировке. Уравнения состояния калорическое и термическое. Уравнение состояния идеального газа.	4	8	8
Тема 4. Характеристические функции и дифференциальные соотношения Внутренняя энергия. Свободная энергия (свободная энергия Гельмгольца). Энтальпия. Термодинамический потенциал (свободная энергия Гиббса). Соотношения Максвелла. Замена независимых переменных в соотношениях, содержащих частные производные. Теплоемкость. Удельная теплоемкость. Связь между изобарной и изохорной теплоемкостями. Уравнение Майера. Скрытая теплота. Термические коэффициенты. Термический коэффициент объемного расширения. Термический коэффициент давления. Коэффициент изотермической сжимаемости. Связь между термическими коэффициентами. Коэффициент адиабатной сжимаемости. Связь между изотермическим и адиабатным коэффициентами сжимаемости.	4	8	8

Тема 5. Второе начало термодинамики Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго начала. Метод циклов. Цикл Карно. Прямой идеальный цикл Карно. Теорема приведенных теплотах. Эквивалентность принципов Клаузиуса и Томсона. Теорема Карно-Клаузиуса. Энтропия как функция состояния. Необратимые процессы. Интеграл Клаузиуса для необратимых циклов.	4	8	8
Тема 6. Третье начало термодинамики Третье начало термодинамики. Поведение термических и калорических коэффициентов в области низких температур. Недостижимость абсолютного нуля.	2	4	4
Тема 7. Термодинамика систем с переменным числом частиц Химический потенциал. Большой термодинамический потенциал. Связь между изменениями T , p и μ в равновесном процессе.	2	4	4
Тема 8. Экстремальные свойства термодинамических потенциалов Условия термодинамического равновесия и термодинамической устойчивости систем. Изолированные системы. Система в термостате. Система над поршнем. Условия равновесия для замкнутой системы в случае, когда работа связана только с изменением объема. Принцип Ле Шателье – Брауна. Изотерма Ван-дер-Ваальса. Правило Максвелла для изотерм Ван-дер-Ваальса.	4	8	8
Тема 9. Термодинамическая теория фазовых переходов Гетерогенные системы. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса. Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Диаграмма состояний однокомпонентной системы. Фазовые переходы второго рода.	4	8	8
Итого	30	60	60

ПРАКТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА

Тема	Задание на практическую подготовку	количество часов
Тема 1. Основные понятия и термины термодинамики	Разработать расчетный модуль для пересчета термодинамических параметров (давление, объем, температура) идеальных и реальных газов при переходе между различными системами единиц и шкалами.	
Тема 2. Нулевое начало термодинамики	Разработать методику определения температуры системы при установлении теплового равновесия.	
Тема 3. Первое начало термодинамики	Разработать алгоритм расчета работы, теплоты и изменения внутренней энергии для различных изопроцессов.	
Тема 4. Характеристические функции и дифференциальные соотношения	Составить методику расчета термодинамических коэффициентов (сжимаемости и расширения) через соотношения Максвелла.	

Тема 5. Второе начало термодинамики	Разработать расчетный модуль для вычисления изменения энтропии при обратимых и необратимых процессах.	
Тема 6. Третье начало термодинамики	Составить алгоритм расчета энтропии вещества при температурах, близких к абсолютному нулю.	
Тема 7. Термодинамика систем с переменным числом частиц	Разработать методику расчета химического потенциала для многокомпонентной смеси газов.	
Тема 8. Экстремальные свойства термодинамических потенциалов	Разработать расчетную схему для поиска точек устойчивого равновесия системы через минимизацию энергии Гиббса.	
Тема 9. Термодинамическая теория фазовых переходов.	Разработать расчетный алгоритм построения диаграммы состояния (фазовой диаграммы) однокомпонентной системы на основе уравнения Клапейрона-Клаузиуса.	

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Темы для самостоятельного изучения	Изучаемые вопросы	Количество часов	Формы самостоятельной работы	Методические обеспечения	Формы отчетности
Макросистемы. Термодинамический способы описания макросистемы. Равновесные и неравновесные системы	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 возрастания энтропии и его физическая интерпретация	Энтропия и термодинамическая вероятность. Связь энтропии со статистическим весом. Связь энтропии с функцией распределения. Закон возрастания энтропии и его физическая интерпретация.	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
Условия равновесия макросистемы во внешнем	Распределение Больцмана. Распределение Больцмана в классиче-	10	Работа с литературой и	Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. 2010. И.Ф. Щеголев. Элементы	Конспект, решённые

поле. Идеальный газ. Распределение Больцмана	ской статистике. Неравновесный идеальный газ. Свободная энергия больцмановского идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Распределение средней энергии идеального газа по степеням свободы. Внутренняя энергия		интернетом, консультации	статистической механики, термодинамики и кинетики. 2008. А.Н. Голов. Сборник задач по статистической физике. 2012. Физический энциклопедический словарь. Х. Киракосян. Структурная физика. 2011.	ные задачи
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	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	решённые задачи
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	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.	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.	решённые задачи

	Уравнение Гиббса – Гельмгольца. Свободная энергия равновесных систем. Тепловая функция. Эффект Джоуля – Томсона			Физический энциклопедический словарь	
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	решённые задачи
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	6	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. А.К. Дадиванян, Д.Н. Чаусов. Ближний ориентационный порядок в растворах полимеров. 2012.	решённые 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	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 физики, создавать модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.	Домашние задания, решение задач, доклад, конспект	Шкала оценивания доклада, шкала оценивания домашних работ, шкала оценивания решения задач, шкала оценивания конспекта
	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.	Домашние задания, решение задач, доклад, конспект, практическая подготовка	Шкала оценивания доклада, шкала оценивания домашних работ, шкала оценивания решения задач, шкала оценивания конспекта, шкала оценивания практической подготовки

Шкала 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 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 оценивания домашних заданий

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

Шкала оценивания конспекта

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

1. Показать, что если уравнение состояния имеет вид $p = p(T, V)$, то справедливо соотношение $p\gamma = \kappa\alpha$, где $\alpha = (\partial V/\partial T)_p/V$ - термический коэффициент объемного расширения, $\gamma = (\partial p/\partial T)_V/p$ - термический коэффициент давления, $\kappa = -V(\partial p/\partial V)_T$ - объемный модуль упругости.
2. Установить связь между термическими коэффициентами $\alpha = (\partial V/\partial T)_p/V$ - термический коэффициент расширения, $\beta = -(\partial V/\partial p)_T/V$ - термический коэффициент изотермического сжатия, $\gamma = (\partial p/\partial T)_V/p$ - термический коэффициент давления.
3. Доказать соотношение $dp = \kappa \left(-\frac{dV}{V} + \alpha dT \right)$, связывающее малые изменения dp , dV и dT давления объема и температуры при квазистатическом процессе. $\alpha = (\partial V/\partial T)_p/V$, $\kappa = -V(\partial p/\partial V)_T$.
4. Найти связь между коэффициентами адиабатической $\chi_{ад} = -(\partial V/\partial p)_{ад}/V$ и изотермической $\chi = -(\partial V/\partial p)_T/V$ сжимаемости.
5. Термическое и калорическое уравнения состояния идеального электронного газа связаны соотношением $pV = \frac{2}{3}U$. Найти для этого газа уравнение адиабаты в переменных p , V и T , V .
6. Вычислить энтропию газа Ван-дер-Ваальса и найти уравнение его адиабаты.
7. Вычислить к. п. д. воздушной машины, работающей по циклу, состоящему из двух изотерм $T = T_1$ и $T = T_2$ и двух изохор $V = V_1$ и $V = V_2$ и сравнить его с к. п. д. машины, работающей по циклу Карно с теми же температурами T_1 и T_2 .
8. Доказать, что теплоемкость при постоянном объеме $C_V = (\partial U/\partial T)_V$, а при постоянном давлении $C_p = (\partial H/\partial T)_p$.
9. Доказать, что $C_p - C_V = \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \left[p + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] = - \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V \left[p \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T + \left(\frac{\partial U}{\partial p} \right)_T \right]$.
10. Доказать, что $\left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_T - V = \left(\frac{\partial U}{\partial p} \right)_T + p \left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$.
11. Доказать соотношение: $\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V - p$.
12. Доказать соотношение: $\left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_T = -T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p + V$.
13. Доказать соотношение: $\left(\frac{\partial s}{\partial T} \right)_v = \frac{c_v}{T}$, $\left(\frac{\partial s}{\partial T} \right)_p = \frac{c_p}{T}$, где s - энтропия единицы массы, c_v и c_p - удельные теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении.
14. Доказать соотношение: $\frac{\partial^2 u}{\partial T \partial v} = T \frac{\partial^2 s}{\partial T \partial v}$, $\frac{\partial^2 h}{\partial T \partial p} = T \frac{\partial^2 s}{\partial T \partial p}$, где u , h и s - энергия, энтальпия и энтропия единицы массы.

15. Доказать соотношения: $c_p - c_v = T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v = \frac{\alpha^2 v T}{\beta}$, где $\alpha = (\partial v / \partial T)_p / v$, $\beta = -(\partial v / \partial p)_T / v$.
16. Доказать соотношения: $\left(\frac{\partial c_p}{\partial p} \right)_T = -T \left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2} \right)_p$, $\left(\frac{\partial c_v}{\partial v} \right)_T = T \left(\frac{\partial^2 p}{\partial T^2} \right)_v$.
17. Внутренняя энергия U системы определяется давлением p и объемом V . Доказать, что в этом случае справедливы следующие соотношения: $dU = C_V \frac{\beta}{\alpha} dp + \left(\frac{C_p}{\alpha} - pV \right) \frac{dV}{V}$, где $\alpha = (\partial V / \partial T)_p / V$, $\beta = -(\partial V / \partial p)_T / V$.
18. Энтальпия H системы определяется давлением p и объемом V . Доказать, что в этом случае справедливы следующие соотношения: $dH = \left(C_V \frac{\beta}{\alpha} + V \right) dp + \frac{C_p}{\alpha} \frac{dV}{V}$, где $\alpha = (\partial V / \partial T)_p / V$, $\beta = -(\partial V / \partial p)_T / V$.
19. Используя свободную энергию F , доказать справедливость следующих соотношений: $\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T + p = T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_V$.
20. Используя термодинамический потенциал G , доказать справедливость следующих соотношений: $\left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_T - V = -T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$.
21. Показать, что $\left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_T - V = -T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = -C_p \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_S$.
22. Система состоит из N частиц одного сорта; U , T , V и μ обозначают соответственно внутреннюю энергию, абсолютную температуру, объем и химический потенциал на одну частицу. Доказать следующие соотношения: $\left(\frac{\partial U}{\partial N} \right)_{T,V} - \mu = -T \left(\frac{\partial \mu}{\partial T} \right)_{V,N}$.
23. Система состоит из N частиц одного сорта; U , T , V и μ обозначают соответственно внутреннюю энергию, абсолютную температуру, объем и химический потенциал на одну частицу. Доказать следующие соотношения: $\left(\frac{\partial N}{\partial T} \right)_{V,\mu/T} = \left(\frac{\partial N}{\partial \mu} \right)_{T,V} \frac{1}{T}$.

Перечень примерных тем конспекта

1. Макросистемы. Термодинамические способы описания макросистемы. Равновесные и неравновесные системы
2. Энтропия, её физический смысл. Закон возрастания энтропии и его физическая интерпретация
3. Условия равновесия макросистемы во внешнем поле. Идеальный газ. Распределение Больцмана
4. Работа и количество тепла. Первое начало термодинамики
5. Второе начало термодинамики. Объединённая форма первого и второго начал термодинамики
6. Энтальпия. Свободная энергия макросистемы. Термодинамические потенциалы
7. О направлении изменения термодинамических потенциалов при необратимых процессах. Давление. Уравнение адиабаты
8. Химический потенциал, его физический смысл
9. Термодинамика открытых систем

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

Задание 1: Разработать расчетный модуль для пересчета термодинамических параметров (давление, объем, температура) идеальных и реальных газов при переходе между различными системами единиц и шкалами.

Задание 2: Разработать методику определения конечной температуры изолированной системы при установлении теплового равновесия.

Задание 3: Разработать алгоритм расчета работы, теплоты и изменения внутренней энергии для различных изопроцессов.

Задание 4: Составить методику вычисления коэффициентов сжимаемости (изотермической) и объемного расширения с использованием соотношений Максвелла.

Задание 5: Разработать расчетный модуль для вычисления изменения энтропии при обратимых и необратимых процессах.

Задание 6: Составить алгоритм расчета энтропии вещества при температурах, близких к абсолютному нулю.

Задание 7: Разработать методику расчета химического потенциала для многокомпонентной смеси газов.

Задание 8: Разработать расчетную схему для поиска точек устойчивого равновесия системы через минимизацию энергии Гиббса.

Задание 9: Разработать расчетный алгоритм построения диаграммы состояния (фазовой диаграммы) однокомпонентной системы на основе уравнения Клапейрона-Клаузиуса.

Примерные вопросы для экзамена

Вопросы к экзамену по термодинамике

1. Термодинамическая (статистическая) система. Классификация термодинамических систем. Классификация термодинамических контактов. Классификация термодинамических стенок.
2. Нулевое начало термодинамики. Свойства состояния термодинамического равновесия. Абсолютная температура.
3. Причина возникновения процессов в системе. Классификация процессов в термодинамике. Критерий равновесности процесса.
4. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия. Экстенсивные (аддитивные) и интенсивные величины. Аддитивность внутренней энергии.
5. Термодинамические координаты. Термодинамические силы. Координаты и силы при механическом, тепловом и материальном воздействии.
6. Первое начало термодинамики в дифференциальной формулировке. Уравнение состояния. Уравнение состояния в общем виде. Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса. Вириальное разложение.
7. Внутренняя энергия. Дифференциальные соотношения (сопряжение по координатам).
8. Свободная энергия (свободная энергия Гельмгольца). Дифференциальные соотношения (смешанное сопряжение).
9. Энтальпия. Дифференциальные соотношения (смешанное сопряжение).
10. Термодинамический потенциал (свободная энергия Гиббса) Дифференциальные соотношения (сопряжение по силам).
11. Замена независимых переменных в соотношениях, содержащих частные производные.
12. Теплоемкость. Удельная теплоемкость. Связь между изобарной и изохорной теплоемкостями. Формула Майера. Скрытая теплота.
13. Термический коэффициент объемного расширения. Термический коэффициент давления.
14. Коэффициент изотермической сжимаемости. Коэффициент адиабатной сжимаемости.
15. Обратимые и необратимые процессы. Принцип Томсона (Кельвина). Принцип Клаузиуса.
16. Метод циклов. Цикл Карно. Теорема приведенных теплотах. Обратный идеальный цикл Карно.
17. Эквивалентность принципов Клаузиуса и Томсона. Теорема Карно-Клаузиуса.
18. Энтропия как функция состояния. Общая формулировка второго закона термодинамики.
19. Третье начало термодинамики. Поведение термических коэффициентов в области низких температур.
20. Поведение калорических величин в области низких температур. Недостижимость абсолютного нуля.
21. Химический потенциал. Большой термодинамический потенциал. Связь между изменениями T , p и μ в равновесном процессе.
22. Условия термодинамического равновесия и термодинамической устойчивости систем.

23. Использование экстремальных свойств термодинамических потенциалов при механическом воздействии на систему.
24. Использование экстремальных свойств термодинамических потенциалов при тепловом воздействии на систему.
25. Устойчивость системы под поршнем по отношению к тепловому воздействию. Правило Максвелла для изотерм Ван-дер-Ваальса.
26. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса.
27. Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Диаграмма состояний однокомпонентной системы.
28. Фазовые переходы второго рода.

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

Итоговая шкала оценивания результатов освоения дисциплины

Итоговая оценка по дисциплине выставляется по приведенной ниже шкале. При выставлении итоговой оценки преподавателем учитывается работа обучающегося в течение освоения дисциплины, а также оценка по промежуточной аттестации.

Количество баллов	Оценка по традиционной шкале
81-100	Отлично
61-80	Хорошо
41-60	Удовлетворительно
0-40	Неудовлетворительно

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, строение 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>
3. Электронно-библиотечная система Лань <https://e.lanbook.com>
4. ООО «Электронное издательство Юрайт» <https://urait.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 «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: комплект учебной мебели, доска, технические средства обучения (проектор подвесной, компьютер стационарный - моноблок);

- помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой, подключенной к сети Интернет, обеспеченные доступом к электронной информационно-образовательной среде Университета. Персональные компьютеры с подключением к сети Интернет и обеспечением доступа к электронным библиотекам и в электронную информационно-образовательную среду Университета. Доска. Программное обеспечение: Лицензионное программное обеспечение: Зарубежное: Microsoft Windows, Microsoft Office Отечественное: Kaspersky Endpoint Security Свободно распространяемое программное обеспечение: Зарубежное: Google Chrome, 7-zip Отечественное: ОМС Плеер (для воспроизведения Электронных Учебных Модулей) Информационные справочные системы: система «КонсультантПлюс» Профессиональные базы данных: fgosvo.ru pravo.gov.ru;

- помещение для самостоятельной работы для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, оснащенное компьютерной техникой, подключенной к сети Интернет, обеспечено доступом к электронно-образовательной среде Университета, Комплект учебной мебели, персональные компьютеры с подключением к сети Интернет и обеспечением доступа к электронным библиотекам и в электронную информационно-образовательную среду Университета, доска, проектор подвесной;

- в том числе, материально-техническое обеспечение практической подготовки по дисциплине:

- учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащенная оборудованием и техническими средствами обучения: Лабораторные столы (1.44×0.82), , Компьютерный стол (1.30×0.80), Металлический шкаф 2ШМО4, Классная доска маркерная, Силовой щит с 3 автоматическими выключателями, Доска пробковая (0,6×0,4), Стенной шкаф, Часы, Компьютер, Принтер, Сетевой фильтр, Колонки, Мультимедийная доска, Проектор. Лаборатор-

ная работа №1-МФ «Определение термического коэффициента давления газа при различных температурах» - на основе термостата U-10. Вакуумметр на стенде, Вакуумный насос. Лабораторная работа №2 МФ «Определение отношения теплоемкости воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме» - настольная установка с U – образным манометром и бутылкой с объемом 40 литров, Насос с ручным приводом. Лабораторная работа №4 МФ «Определение удельной теплоты перехода воды в пар при температуре кипения» - настольный стенд, Вольтметр, Амперметр, Регулятор напряжения школьный, Весы рычажные на мраморной плите. Лабораторная работа №5 МФ «Изучение зависимости температуры кипения воды от внешнего давления» - настольный стенд со стеклянным конденсатором и образцовым вакуумметром, Вакуумный насос с электродвигателем, Милливольтамперметр. Лабораторная работа №7 МФ «Определение влажности воздуха и постоянной психрометра Ассмана» - на настольном стенде, Гигрометр, Выпрямитель ВСП-12, Барометр. Лабораторная работа №8 МФ «Определение критической температуры этилового эфира» - на настольном стенде. Регулятор напряжения школьный, Проекционный фонарь с экраном, Милливольтмиллиамперметр. Лабораторная работа №11 МФ «Определение коэффициента поверхностного натяжения» - настольный стенд, Микроскоп. Лабораторная работа №13 МФ «Определение динамической вязкости воздуха» - настольный стенд, Микроскоп, Бутылка с нижним краном, Мерная колба. Список учебных таблиц и демонстрационных пособий: Порядок работы в лаборатории, Погрешности при физических измерениях, Фундаментальные физические константы, Греческий алфавит, Периодическая система элементов Д.И.Менделеева, Кратные приставки.