

|  |  |        |
|--|--|--------|
| Документ подписан простой электронной подписью<br>Информация о владельце:<br>ФИО: Гаскаев Сергей Валерьевич<br>Должность: Ректор | МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ<br>Федеральное государственное бюджетное образовательное<br>учреждение высшего образования<br>«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)                               |        |
| Дата подписания: 17.03.2026 11:29:57<br>Уникальный программный ключ:<br>04c19ed8bfb98f3b6cb77a486b9a8788b8322323                 | Рабочая программа дисциплины "Термодинамика" по направлению подготовки (специальности) 03.03.03<br>Радиоп физика направленности (профиль) Телекоммуникационные системы и информационные технологии<br>ФГБОУ ВО «ЧелГУ» | стр. 1 |

## Рабочая программа дисциплины (модуля)\*

Термодинамика

Направление подготовки (специальность)

03.03.03 Радиоп физика

Направленность (профиль)

Телекоммуникационные системы и информационные технологии

Присваиваемая квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год(ы) набора 2026

\*Рабочая программа дисциплины (модуля) адаптирована для инклюзивного обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Челябинск 2026 г.



## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОПОП
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)
4. Объем дисциплины (модуля)
5. Структура и содержание дисциплины (модуля)
6. Фонд оценочных средств
  - 6.1. Перечень видов оценочных средств
  - 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации
  - 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации
  - 6.4. Критерии оценивания
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)
  - 7.1. Рекомендуемая литература
  - 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"
  - 7.3. Перечень информационных технологий
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Специальные условия освоения дисциплины обучающимися с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья



### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Термодинамика» состоит в изучении фундаментальных основ описания равновесных и неравновесных термодинамических систем на основе общих методов термодинамики, приобретение навыков решения и исследования конкретных физических задач.

Основные задачи дисциплины:

1. изучение основных понятий термодинамики и начал термодинамики;
2. изучение основных методов термодинамики;
3. знакомство с некоторыми приложениями термодинамики.

Результаты обучения по дисциплине направлены на достижение индикаторов:

ОПК-1.1. Обладает базовыми знаниями, полученными в области физики и радиофизики.

ОПК-1.2. Демонстрирует умение решать задачи, формулируемые в рамках физики и радиофизики.

ОПК-1.3. Имеет навыки использования основных понятий, теорем, законов физики и радиофизики для решения задач профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Цикл (раздел) ОПОП: Б1.О.08

#### 2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Молекулярная физика

Дифференциальные уравнения

Математический анализ

Оптика

Электричество и магнетизм

Механика

#### 2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Подготовка к сдаче и сдача  
государственного экзамена

Производственная практика (научно-исследовательская работа)

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;**

#### Знать:

Для достижения ОПК-1.1: теоретические основы, основные понятия, законы и методы термодинамики

#### Уметь:

Для достижения ОПК-1.2: понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию по разделу теоретической физики "Термодинамика", пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и методами термодинамики

#### Владеть:

Для достижения ОПК-1.3: физическими и математическими методами обработки и анализа информации по разделу теоретической физики "Термодинамика"

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

#### 3.1 Знать:

3.1.1 теоретические основы, основные понятия, законы и методы термодинамики

#### 3.2 Уметь:



Рабочая программа дисциплины "Термодинамика" по направлению подготовки (специальности) 03.03.03 "Радиофизика" направленности (профилю) Телекоммуникационные системы и информационные технологии ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

стр. 4

3.2.1 понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию по разделу теоретической физики "Термодинамика", пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и методами термодинамики

**3.3 Владеть:**

3.3.1 физическими и математическими методами обработки и анализа информации по разделу теоретической физики "Термодинамика"

**4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

|   |  |
|---|--|
| Общая трудоемкость  | 3 ЗЕТ  |
| Часов по учебному плану : 108<br>в том числе :<br>аудиторные занятия : 52<br>самостоятельная работа : 16,7<br>часов на контроль : 36<br>контактная работа: 55,3<br>ИКР: 3,3 | Виды контроля в семестрах:<br><br>экзамены 7 |

**5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

| Код занятия | Наименование разделов и тем /вид занятия/  | Семестр / Курс | Часов | Литература                        |
|-------------|--|----------------|-------|-----------------------------------|
|             | <b>Раздел 1. Введение, начала термодинамики</b>  |                |       |                                   |
| 1.1         | Введение. Нулевое начало термодинамики. Предмет изучения термодинамики и статистической физики и используемые методы. Основные понятия термодинамики. Нулевое начало термодинамики и следствия из него. /Лек/  | 7              | 2     | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 1.2         | Введение. Нулевое начало термодинамики. Предмет изучения термодинамики и статистической физики и используемые методы. Основные понятия термодинамики. Нулевое начало термодинамики и следствия из него. /Ср/   | 7              | 1     | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 1.3         | Первое начало термодинамики. Теплота и работа, первое начало термодинамики. Теплоемкость. Уравнения термодинамических процессов. /Лек/   | 7              | 4     | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 1.4         | Первое начало термодинамики. Теплота и работа, первое начало термодинамики. Теплоемкость. Уравнения термодинамических процессов. /Пр/  | 7              | 4     | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 1.5         | Первое начало термодинамики. Теплота и работа, первое начало термодинамики. Теплоемкость. Уравнения термодинамических процессов. /Ср/  | 7              | 1     | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 1.6         | Второе начало термодинамики. Энтропия. Словесные формулировки второго начала. Эмпирическая и абсолютная энтропия. Связь между эмпирической и абсолютной температурой. Основное уравнение термодинамики. Вычисление энтропии. Теорема Гиббса. Второе начало для неравновесных процессов, закон возрастания энтропии. Цикл Карно. Теоремы Карно. /Лек/ | 7              | 7     | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 1.7         | Второе начало термодинамики. Энтропия. Словесные формулировки второго начала. Эмпирическая и абсолютная энтропия. Связь между эмпирической и абсолютной температурой. Основное уравнение термодинамики. Вычисление энтропии. Теорема Гиббса. Второе начало для неравновесных процессов, закон возрастания энтропии. Цикл Карно. Теоремы Карно. /Пр/  | 7              | 4     | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |



|   |   |   |   |                                      |
|---|---|---|---|--------------------------------------|
| 1.8   | Второе начало термодинамики. Энтропия. Словесные формулировки второго начала. Эмпирическая и абсолютная энтропия. Связь между эмпирической и абсолютной температурой. Основное уравнение термодинамики. Вычисление энтропии. Теорема Гиббса. Второе начало для неравновесных процессов, закон возрастания энтропии. Цикл Карно. Теоремы Карно. /Ср/ | 7 | 1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 1.9   | Третье начало термодинамики.<br>Третье начало термодинамики и следствия из него.<br>/Лек/   | 7 | 1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 1.10  | Третье начало термодинамики.<br>Третье начало термодинамики и следствия из него.<br>/Ср/  | 7 | 1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 2. Методы термодинамики</b>   |   |   |   |                                      |
| 2.1   | Метод термодинамических потенциалов. Термодинамические потенциалы простых и сложных систем, систем с переменным числом частиц. Метод циклов. /Лек/  | 7 | 4 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 2.2   | Метод термодинамических потенциалов. Термодинамические потенциалы простых систем. Метод циклов. /Пр/  | 7 | 4 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 2.3   | Метод термодинамических потенциалов. Термодинамические потенциалы простых и сложных систем, систем с переменным числом частиц. Метод циклов. /Ср/   | 7 | 2 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 3. Равновесие и устойчивость термодинамических систем. Фазовые переходы</b> |   |   |   |                                      |
| 3.1   | Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости. Равновесие и устойчивость гомогенных систем. Принцип Ле-Шателье - Брауна. Химическое равновесие в гомогенной системе. Равновесие гетерогенных систем. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы первого и второго рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса и уравнения Эренфеста.<br>/Лек/       | 7 | 8 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 3.2   | Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости. Равновесие и устойчивость гомогенных систем. Принцип Ле-Шателье - Брауна. Химическое равновесие в гомогенной системе. Равновесие гетерогенных систем. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.<br>/Пр/  | 7 | 2 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 3.3   | Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости. Равновесие и устойчивость гомогенных систем. Принцип Ле-Шателье - Брауна. Химическое равновесие в гомогенной системе. Равновесие гетерогенных систем. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы первого и второго рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса и уравнения Эренфеста.<br>/Ср/        | 7 | 3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 4. Применение термодинамики</b>   |   |   |   |                                      |
| 4.1   | Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Термодинамика поверхностных явлений. Методы получения низких температур: эффект Джоуля-Томсона, метод адиабатического размагничивания парамагнетиков. /Лек/  | 7 | 6 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 4.2   | Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Термодинамика поверхностных явлений. Методы получения низких температур: эффект Джоуля-Томсона. /Пр/   | 7 | 4 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| 4.3   | Термодинамика диэлектриков и магнетиков. Термодинамика поверхностных явлений. Методы получения низких температур: эффект Джоуля-Томсона, метод адиабатического размагничивания парамагнетиков. /Ср/   | 7 | 3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |
| <b>Раздел 5. Основы неравновесной термодинамики</b>                                   |   |   |   |                                      |



Рабочая программа дисциплины "Термодинамика" по направлению подготовки (специальности) 03.03.03 "Радиофизика" направленности (профилю) Телекоммуникационные системы и информационные технологии ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

стр. 6

|   |   |   |     |                                      |
|---|---|---|-----|--------------------------------------|
| 5.1                                     | Исходные положения линейной теории необратимых процессов. Уравнения локального баланса. Соотношения Онсагера, принцип минимума производства энтропии. /Лек/ | 7 | 2   | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5      |
| 5.2                                     | Исходные положения линейной теории необратимых процессов. Уравнения локального баланса. Соотношения Онсагера, принцип минимума производства энтропии. /Ср/  | 7 | 4,7 | Л1.1 Л1.2Л2.1<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5      |
| <b>Раздел 6. Иная контактная работа</b> |   |   |     |                                      |
| 6.1                                     | Индивидуальные консультации, текущий контроль /ИКР/   | 7 | 3,3 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2<br>Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 |

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 6.1. Перечень видов оценочных средств

Отчеты по задачам (по практическим занятиям)

Контрольная работа

Вопросы к экзамену

### 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации

Задачи к практическим занятиям представлены в Приложении 1; пример варианта контрольной работы представлен в Фонде оценочных средств промежуточной аттестации по дисциплине "Термодинамика"

### 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации

Вопросы к экзамену

1. Предмет и задачи ТД\*.
2. Нулевое начало ТД\*.
3. Первое начало ТД\*.
4. Уравнения состояния\*.
5. Теплоемкости, термические коэффициенты\*.
6. Основные ТД процессы\*.
7. Словесные формулировки 2-го начала ТД\*.
8. Энтропия\*, переход от эмпирической энтропии к абсолютной.
9. Температура\*, связь эмпирической и абсолютной температур.
10. Основное уравнение ТД и его следствия\*.
11. Вычисление энтропии\*. Теорема Гиббса.
12. Второе начало ТД для необратимых процессов\*.
13. Третье начало ТД и его следствия\*.
14. Цикл Карно\*. Теоремы Карно.
15. ТД потенциалы простых систем\*.
16. ТД потенциалы сложных систем\*.
17. ТД потенциалы систем с переменным числом частиц\*.
18. Метод круговых процессов\*.
19. Общие условия ТД равновесия\*.
20. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы.
21. Условия устойчивости равновесия однородной системы. Принцип Ле -Шателье - Брауна.
22. Равновесие гетерогенных систем. Правило фаз Гиббса.
23. Химическое равновесие в однородной системе.
24. Тепловое ионизационное равновесие. Формула Саха.
25. Классификация фазовых переходов.
26. Уравнение Клейрона-Клаузиуса.
27. Уравнения Эренфеста.
28. ТД диэлектриков.
29. ТД магнетиков.
30. ТД поверхностных явлений.
31. Методы получения низких температур
32. Исходные положения линейной теории необратимых процессов.
33. Уравнения локального баланса.
34. Соотношения взаимности Онсагера.
35. Принцип минимума производства энтропии.



Примечание: \*отмечены вопросы, входящие в список вопросов «теоретического минимума».

#### 6.4. Критерии оценивания

Текущий контроль теоретических знаний и практических навыков производится на практических занятиях в виде контрольной работы, а также в виде отчетов по темам практических занятий, которые студент сдает в течение семестра.

1. Посещение лекционных занятий. Максимальный рейтинговый балл=6.
  2. Практические задания
    - 2.1. Посещение практических занятий. Максимальный рейтинговый балл=3.
    - 2.2 Сдача задач по теме «Теплота и работа. Уравнения состояния». Максимальный рейтинговый балл=7.
    - 2.3 Сдача задач по теме «Первое начало термодинамики. Теплоемкость». Максимальный рейтинговый балл=7.
    - 2.4 Сдача задач по теме «Второе начало термодинамики. Вычисление энтропии». Максимальный рейтинговый балл=7.
    - 2.5 Сдача задач по теме «Методы термодинамики». Максимальный рейтинговый балл=7.
    - 2.6 Сдача задач по теме «Равновесие и устойчивость термодинамических систем. Фазовые переходы». Максимальный рейтинговый балл=7.
    - 2.7 Сдача задач по теме «Термодинамика различных систем». Максимальный рейтинговый балл=7.
  3. Контрольная работа по теме «Начала и методы термодинамики». Максимальный рейтинговый балл=9.
- Итого: 60 баллов

Отчет по задачам подразумевает решение задач из предложенного списка задач к дисциплине и умение объяснить ход решения 1-2 задач из темы.

Студент получает:

- 7–6 баллов в том случае, если решено >80% задач, студент объясняет решение задач, тема сдана вовремя;
- 5–3 баллов, если решено >80% задач, студент объясняет решение задач, тема сдана не вовремя;
- 3-1 балл, если решено <80% задач, студент объясняет решение задач, тема сдана не вовремя.

На контрольной работе студенту предлагается решить три задачи. Контрольная работа, выполненная студентом, оценивается по 9-ти бальной шкале, руководствуясь при этом следующими критериями:

Студент получает:

- 9 баллов, если правильно и с пояснениями решены три задачи;
- 8-7 баллов, если решены три задачи, но есть ошибки;
- 6 баллов, если правильно и с пояснениями решены две задачи;
- 5-4 балла, если решены две задачи, но есть ошибки;
- 3 балла, если решена одна задача;
- 2-1 балл, если частично решена одна задача.

Если студент за время работы в семестре набрал 55–60 баллов, он освобождается от решения задачи на экзамене.

Если студент за время работы в семестре набрал менее 25 баллов, для него экзамен проходит в два этапа. На первом этапе студент выполняет тест из 10 вопросов. Каждый правильный ответ оценивается в 3 балла. Чтобы тест был зачтен, студент должен дать правильные ответы по крайней мере на 6 вопросов из 10. На втором этапе студент отвечает на вопросы экзаменационного билета.

Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и задачу.

За ответ по экзаменационному билету студент получает:

- 40–35 баллов, если он демонстрирует отличное знание материала, как лекционных занятий, так и тем, выносимых на самостоятельное обучение, ответил на оба вопроса билета, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения, задача полностью решена, студент правильно обосновывает решение.
- 35–25 баллов, если студент твердо знает учебно-программный материал, грамотно и по существу излагает его, но при этом допускаются негрубые ошибки при выводе формул и решении задачи или отсутствуют некоторых элементов вывода.
- 25–10 баллов, если знает «теоретический минимум», т.е. отвечает на базовый вопрос и знает основные понятия, соотношения (без вывода), название и смысл физических величин по другим вопросам билета.

Автоматическая оценка "удовлетворительно" выставляется за 51-60 баллов (баллы текущей аттестации).

- Итоговая оценка "отлично" выставляется за 91-100 баллов;
- Итоговая оценка "хорошо" выставляется за 71-90 баллов;
- Итоговая оценка "удовлетворительно" выставляется за 51-70 баллов;
- Итоговая оценка "неудовлетворительно" выставляется за 0-50 баллов.



## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

|      | Авторы, составители       | Заглавие  | Издательство, год          | Ресурс |
|------|---------------------------|---|----------------------------|--------|
| Л1.1 | Румер Ю. Б., Рывкин М. Ш. | Термодинамика, статистическая физика и кинетика: учебное пособие<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=482845">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=482845</a> ) | Москва : Наука, 1977       | ЭБС    |
| Л1.2 | Базаров И. П.             | Термодинамика: учебник для студентов вуза   | Москва: Высшая школа, 1983 |        |

#### 7.1.2. Дополнительная литература

|      | Авторы, составители | Заглавие   | Издательство, год  | Ресурс |
|------|---------------------|--|--|--------|
| Л2.1 | Ансельм А. И.       | Основы статистической физики и термодинамики: монография<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=479541">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=479541</a> )            | Москва : Наука Главная редакция физико-математической литературы, 1973 | ЭБС    |
| Л2.2 |                     | Задачи по термодинамике и статистической физике: научная литература<br>( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=482853">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=482853</a> ) | Москва : Мир, 1974   | ЭБС    |

### 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

|    |  |
|----|--|
| Э1 | Лань [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Лань. – URL: <a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>                                      |
| Э2 | Университетская библиотека онлайн [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / ООО Директмедиа Паблишинг. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> |
| Э3 | Юрайт [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / издательство Юрайт. – URL: <a href="https://biblio-online.ru">https://biblio-online.ru</a>                              |
| Э4 | Znanium.com [Электронный ресурс] : электронно-библиотечная система (ЭБС) / Научно-издательский центр ИНФРА-М. – URL: <a href="http://znanium.com/">http://znanium.com/</a>                   |
| Э5 | eLIBRARY.RU [Электронный ресурс] : электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. – URL: <a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>                       |

### 7.3 Перечень информационных технологий

#### 7.3.1 Программное обеспечение

Adobe Reader

LMS Moodle

Adobe Connect Acrobat

#### 7.3.2 Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы

1. Электронный каталог научной библиотеки ЧелГУ [Электронный ресурс] : база данных / Челяб. гос. ун-т. – URL: <http://library.csu.ru/ru/> - Челябинск, 1992.

2. APS JOURNALS. Physical Review Letters, Physical Review X, Physical Review, and Reviews of Modern Physics : журналы American Physical Society : сайт. – URL: <http://journals.aps.org/about> – Яз. англ. – Режим доступа: только из сети университета. – Текст : электронный.

3. Web of Science : мультидисциплинарная реферативная база данных / компания Thomson Reuters. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.

4. Scopus : реферативная база данных / Elsevier BV. – URL: <http://www.scopus.com/> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)

Рабочая программа дисциплины "Термодинамика" по направлению подготовки (специальности) 03.03.03 "Радиофизика" направленности (профилю) Телекоммуникационные системы и информационные технологии ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

стр. 9

5. Springer Link : [сайт]. – URL: <http://link.springer.com/> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения - мультимедийным оборудованием (экран, ноутбук, проектор, колонки).

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий (мультимедийные презентации).

Используются аудитория №205 - читальный зал №3 (учебный корпус №1) и аудитория №206 - электронный читальный зал (специализированный медицентр) (учебный корпус №1) для самостоятельной работы студента, оснащенные персональными компьютерами, мультимедийной аппаратурой. В аудиториях обеспечен доступ к различной справочной литературе, энциклопедиям, библиографическим и полнотекстовым базам данных, информационным ресурсам «Интернет».

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Освоение содержания учебной дисциплины «Термодинамика» осуществляется на лекциях, практических занятиях и в процессе самостоятельной учебной деятельности студентов.

Лекционные занятия обеспечивают теоретическое изучение дисциплины. Основными методами обучения являются информационно-объяснительный и проблемный. На лекциях излагается основное содержание тем программы, проводится анализ основных понятий и рассматриваются примеры.

Лекционный материал является важным, но не единственным для усвоения учебной дисциплины. Его обязательно необходимо дополнить материалом основной и дополнительной литературы по теме.

Практические занятия служат для закрепления теоретических основ, излагаемых в лекциях. На практических занятиях обучаемые овладевают основными методами и приемами решения задач. Для проведения текущего и промежуточного контроля проводится контрольная работа и защиты задач по каждой теме практических занятий. Защита задач по теме подразумевает решение задач из предложенного списка задач и умение объяснить ход решения 1-2 задач из темы. Система контрольных мероприятий должна обеспечивать объективную оценку знаний и навыков студентов, способствовать повышению эффективности всех видов учебных занятий, включая и самостоятельную работу.

Важным моментом при изучении любой дисциплины является организация самостоятельной работы. При освоении материала не следует стремиться к механическому запоминанию приведенных определений, формулировок и положений, если требования к Вам прямо не указывают на это. Вполне эффективной может оказаться попытка понять суть явления, выработать свое отношение к нему, опираясь на материал, содержащийся в рекомендованной литературе. Также рекомендуется равномерно распределять нагрузку самостоятельного обучения в течение семестра.

В случае применения при обучении дисциплины электронного обучения, дистанционных образовательных технологий общение обучающихся и преподавателя осуществляется в режиме реального времени (онлайн-лекции (вебинары), чаты, видео-конференции и др.) или отложенного времени (система дистанционного обучения Moodle, MS Office365, форумы, электронная почта и др.).

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья электронное обучение, дистанционные образовательные технологии предусматривают возможность приема-передачи информации в доступных для них формах.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий (далее – ЭО, ДОТ) осуществляется на основании «Положения о реализации основных и дополнительных образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Челябинский государственный университет», «Положения о порядке зачета обучающимися по основным профессиональным образовательным программам высшего образования в ФГБОУ ВО «ЧелГУ» результатов освоения в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), практик, дополнительных образовательных программ» посредством электронной информационно-образовательной среды ФГБОУ ВО «ЧелГУ». В исключительных случаях (форс-мажор и т.п.) при реализации образовательной деятельности с применением ЭО, ДОТ могут применять компоненты, не входящие в перечень электронной информационно-образовательной среды.



#### **10. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИМИСЯ С ИНВАЛИДНОСТЬЮ И ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Освоение дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с использованием специальных технических средств и информационных технологий, предоставляемых Ресурсным учебно-методическим центром по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ЧелГУ по запросу обучающегося (мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями зрения и с нарушением слуха, ассистивные информационные технологии).

При необходимости для обучающихся с нарушениями зрения на рабочих местах для проведения практических или лабораторных занятий устанавливается специальное программное обеспечение (программа речевой навигации, речевые синтезаторы, экранные лупы).

В учебные аудитории обеспечивается беспрепятственный доступ для обучающихся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья. В каждой аудитории, где обучаются инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, предусматривается соответствующее количество мест для обучающихся с учетом нарушений их здоровья.

Для освоения дисциплины инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется доступ к печатным источникам, имеющимся в научной библиотеке ЧелГУ, с помощью специальных технических средств; доступ к электронному документу в фонде научной библиотеки ЧелГУ или электронно-библиотечных системах, представленным в форме электронного документа в фонде научной библиотеки ЧелГУ или электронно-библиотечных системах.

Учебно-методические материалы для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и особенностям восприятия информации.

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья освоение дисциплины может быть частично или полностью осуществлено с использованием дистанционных образовательных технологий.

При проведении промежуточной аттестации по дисциплине обучающимся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья обеспечивается по их заявлению предоставление в доступной форме в зависимости от их индивидуальных особенностей инструкции о порядке проведения промежуточной аттестации, оценочных средств и возможности ответов на задания (письменно на бумаге, набор ответов на компьютере, письменно шрифтом Брайля, с использованием услуг ассистента, устно).

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование предоставленных ЧелГУ или собственных технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями. При необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на задания, процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

**Задачи к практическим занятиям**

**Практическое занятие 1. Работа и теплота. Уравнения состояний**

1. Оценить работу испарения 1 моля воды при переходе её в пар при  $t=100^\circ\text{C}$  и нормальном давлении.
2. Найти работу идеального газа при адиабатическом расширении от  $V_1$  до  $V_2$ . Даны также начальная температура  $T_1$  и показатель адиабаты.
3. Найти работу при изотермическом расширении газа Ван-дер-Ваальса.
4. Показать, что дифференциальное выражение для элементарной работы  $\delta W = \sum_i A_i da_i$  не является полным дифференциалом от совокупности независимых параметров, определяющих состояние системы.
5. Установить, что для простой системы справедливы тождества:
 
$$\left(\frac{\partial A}{\partial a}\right)_T \left(\frac{\partial a}{\partial A}\right)_T = 1; \quad \left(\frac{\partial T}{\partial A}\right)_a \left(\frac{\partial A}{\partial a}\right)_T \left(\frac{\partial a}{\partial T}\right)_A = -1;$$
6. Показать, что связь между термическими коэффициентами растяжения  $\alpha = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$  сжатия,  $\beta = -\frac{1}{V_0} \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T$  и упругости  $\gamma = \frac{1}{p_0} \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$  можно представить как  $\alpha = p_0 \beta \gamma$ .
7. Получить приведенное уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса и газа Берглю.

**Практическое занятие 2. Первое начало термодинамики. Определение теплоемкостей при различных процессах**

1. Доказать, что тепловой эффект химической реакции, протекающей при  $V = \text{const}$ , или при  $p = \text{const}$ , не зависит от промежуточных реакций, а определяется только начальными и конечными состояниями реагирующих веществ.
2. Найти  $C_p - C_v$  для идеального газа.
3. Найти  $C_p - C_v$  для газа Ван-дер-Ваальса.
4. Найти удельную теплоту изотермического расширения газа Ван – дер – Ваальса.
5. Определить теплоемкость идеального газа в следующих процессах: а)  $pV^2 = \text{const}$ , б)  $p^2V = \text{const}$ , в)  $\frac{p}{V} = \text{const}$ .
6. Известно, что  $C_v = a(V)T^3$ . Какое количество теплоты нужно передать системе, чтобы нагреть её изохорически от  $T_1$  до  $T_2$ ?
7. Является ли процесс релаксации квазистатическим и почему?

**Практические занятия 3, 4. Второе начало термодинамики. Вычисление энтропии\**

1. Могут ли адиабаты пересекаться и почему?
2. Термическое и калорическое уравнения состояния электронного газа связаны соотношением:  $pV = \frac{2}{3}U$ . Найти уравнение адиабаты в переменных  $p$ - $V$ .

3. В изобарическом процессе температура идеального газа увеличилась вдвое. Как изменилась энтропия?
4. Найти изменение энтропии газа Ван–дер-Ваальса при переходе  $T_1, V_1 \rightarrow T_2, V_2$ .
5. Термический коэффициент расширения  $\alpha$  для воды в интервале температур от  $0^\circ\text{C}$  до  $4^\circ\text{C}$  является величиной отрицательной. Нагревается или охлаждается вода при адиабатическом сжатии в этом интервале температур?
6. Найти работу идеального газа в цикле Карно. Известны температура холодильника и нагревателя и интервалы изменения объема.
7. Сосуд с идеальным газом разделен перегородкой на две равные части, в каждой из которых в объеме  $V$  находится по  $\nu$  молей газа при температуре  $T$ . Показать, что после удаления перегородки изменения энтропии не произойдет.
8. Показать, что если теплоемкость  $C_V \sim T^\alpha$ , то энтропия системы имеет тот же характер зависимости от температуры.

### Практическое занятие 5. Методы термодинамики

1. Найти свободную энергию газа Ван – дер – Ваальса.
2. Известна энтальпия:  $H = H(S, p)$ . Найти  $\beta_S = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_S$ .
3. Известна свободная энергия некоторой системы:  $F = -\frac{3}{2} RT \ln[a(V)T]$ . Найти  $C_V$ .
4. Известен потенциал Гиббса некоторой системы:  

$$G = aT(1 - \ln T) + RT \ln P - TS_0 + U_0. \quad (a, S_0, R, U_0 - \text{const}).$$
 Найти термическое и калорическое уравнения состояния. Какой системе соответствует данный потенциал? Каков физический смысл постоянной  $a$ ?
5. Получить выражение для энтальпии 1 моля идеального газа.
6. Записать соотношение Максвелла для термодинамического потенциала, собственными переменными которого являются энтальпия  $H$  и давление  $p$ .
7. Методом циклов установить зависимость давления насыщенного пара от температуры.
8. Получить энергию Гельмгольца смеси идеальных газов, состоящих из  $\nu_1$  молей одного и  $\nu_2$  другого компонента. Найти изменение энергии Гельмгольца при изотермической диффузии газа.
9. При низкой температуре энтропия электронного газа в металлах пропорциональна температуре. Найти температурную зависимость разности теплоемкостей  $C_p - C_V$ .

*Указание: Не забывайте, что все выражения для термодинамических потенциалов необходимо записывать в собственных переменных.*

### Практическое занятие 6. Равновесие и устойчивость. Фазовые переходы

1. Определить условия равновесия изолированной двухфазной двухкомпонентной системы, когда каждый компонент входит в состав только одной фазы.
2. Цилиндр, разделенный легко скользящей перегородкой на два отсека, в которых находятся  $\nu_1$  и  $\nu_2$  молей идеального газа, помещен в термостат. Найти условия равновесия.
3. Найти число молей йодистого водорода  $HI$  при равновесии в химической реакции  $H_2 + I_2 = 2HI$ . Известны постоянная реакции  $K_c$  и начальное число молей водорода и йода.

4. В какой пропорции следует смешать азот и водород, чтобы получить наибольший равновесный выход аммиака?
5. Для двухкомпонентной системы (например, вода и поваренная соль) определить, сколько фаз могут одновременно находиться в равновесии и каково будет при этом число степеней свободы?
6. Известны теплоемкость пара  $C_p$ , удельная теплота испарения, температура. Найти теплоёмкость насыщенного пара.
7. Найти зависимость от температуры удельной теплоты испарения на кривой испарения (т.е.  $\left(\frac{\partial \lambda}{\partial T}\right)_\mu$ ).

-----  
**Указание:** Задачи на определение условий равновесия конкретных систем необходимо решать, исходя из общих условий термодинамического равновесия и устойчивости.

### Практические занятия 7,8. Термодинамика различных систем

1. Вычислить  $C_E - C_p$  для полярного и неполярного диэлектриков. Здесь  $E$  - напряженность электрического поля,  $P$  - поляризация диэлектриков.
2. Найти теплоемкость  $C_p$  и  $C_v$  равновесного излучения.
3. Показать, что у парамагнетиков, подчиняющихся закону Кюри, внутренняя энергия не зависит от намагниченности при постоянной температуре.
4. Найти изменение температуры при адиабатическом изменении напряженности электрического поля для полярного и неполярного диэлектриков.
5. Полагая, что давление равновесного электромагнитного излучения  $p$  равно трети плотности его энергии  $u = \frac{U}{V}$ , получить температурную зависимость  $u = u(T)$ .
6. Найти тепловой эффект изотермического возрастания напряженности магнитного поля от 0 до  $H$  для идеального парамагнетика.
7. Найти температуру инверсии эффекта Джоуля – Томсона для газа Ван-дер-Ваальса без тех приближений, которые были сделаны на лекции.
8. Найти изменение температуры резинового жгута при его адиабатическом растяжении от  $l_1$  до  $l_2$ . Уравнение состояния жгута

$$f = AT \left[ \left( \frac{l}{l_0} \right) - \left( \frac{l_0}{l} \right)^2 \right], \text{ где } A = \text{const} > 0, f - \text{ сила, с которой растягивается жгут.}$$

-----  
**Указание:** При решении задач по данной теме самое главное – определить, какой параметр для данной системы будет внешним, а какой – внутренним. Для этого нужно записать выражение для работы, совершаемой данной системой и сравнить с общим выражением для работы  $\delta A = A da$ .  $A$  затем все термодинамические уравнения можно писать в нужных переменных.

