

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
цифровых технологий



_____ / Кургалин С.Д.

03.05.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.23 ТЕРМОДИНАМИКА

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

02.03.01 Математика и компьютерные науки

2. Профиль подготовки/специализация:

Распределенные системы и искусственный интеллект

Квантовая теория информации

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: цифровых технологий

6. Составители программы:

Крыловецкая Татьяна Алексеевна, к. ф.-м. н., доцент

7. Рекомендована: НМС ФКН (протокол № 7 от 03.05.2023)

8. Учебный год: 2025-2026 Семестр: 5

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целью курса является систематическое изучение основных положений статистической физики и термодинамики.

Задачами учебной дисциплины является формирование у студентов:

- основных законов и положений термодинамики и статистической физики, классических и квантовых распределений;
- умения использовать математический аппарат термодинамики и статистической физики;
- навыков термодинамического и статистического анализа простейших систем.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к обязательной части учебного плана (блок Б1).

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

| Код | Название компетенции | Код(ы) | Индикатор(ы) | Планируемые результаты обучения |
|-------|--|---------|---|---|
| ОПК-1 | Способен консультировать и использовать фундаментальные знания в области математического анализа, комплексного и функционального анализа алгебры, аналитической геометрии, дифференциальной геометрии и топологии, дифференциальных уравнений, дискретной математики и математической логики, теории вероятностей, математической статистики и случайных процессов, численных методов, теоретической механики в профессиональной деятельности. | ОПК-1.1 | Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических и (или) естественных наук. | Знать: основные законы и положения термодинамики и статистической физики; классические и квантовые распределения. |
| | | ОПК-1.2 | Умеет использовать их в профессиональной деятельности. | Уметь: использовать математический аппарат термодинамики и статистической физики. |
| | | ОПК-1.3 | Имеет навыки выбора методов решения задач профессиональной деятельности на основе теоретических знаний. | Владеть: навыками термодинамического и статистического анализа простейших систем. |

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 4/144.

Форма промежуточной аттестации 5 семестр – экзамен.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

| Вид учебной работы | | Трудоемкость | |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Всего | По семестрам |
| | | | 5 сем. |
| Аудиторные занятия | | 68 | 68 |
| в том числе: | лекции | 34 | 34 |
| | практические | 34 | 34 |
| | лабораторные | | |
| Самостоятельная работа | | 40 | 40 |
| Экзамен | | 36 | 36 |
| Итого: | | 144 | 144 |

13.1. Содержание дисциплины

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела дисциплины | Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК* |
|--------------------------------|--|--|---|
| 1. Лекции | | | |
| 1.1 | Введение | Термодинамика и статистическая физика как теория макроскопических систем. Макроскопическое и микроскопическое описание физических систем. Термодинамические системы. Состояние термодинамического равновесия. Равновесные и неравновесные процессы. Абсолютная температура. Уравнение состояния. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 1.2 | Основные понятия и законы термодинамики | Работа, количество теплоты, внутренняя энергия. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики. Энтропия. Границы применимости второго начала. Третье начало термодинамики. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 1.3 | Методы и приложения термодинамики | Метод циклов. Термодинамические потенциалы. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 1.4 | Основные представления статистической физики | Механическое и статистическое описание системы. Статистические ансамбли и функции распределения. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 1.5 | Общие методы статистической механики | Микроканоническое распределение. Статистический вес и энтропия. Вывод и истолкование основного уравнения термодинамики. Каноническое распределение Гиббса. Интеграл состояний и свободная энергия. Распределение по энергии. Связь канонического распределения с микроканоническим. Идеальный газ, парадокс Гиббса. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале. Квантовое каноническое распределение. Квантовый осциллятор. Постулат Нернста. Недостижимость абсолютного нуля температуры. Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал. Большое каноническое распределение. Большая статистическая сумма и термодинамический потенциал. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 1.6 | Статистическая теория идеальных систем | Идеальный одноатомный газ. Распределение Максвелла и Максвелла-Больцмана. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 1.7 | Теория флуктуаций | Флуктуации основных термодинамических величин. Распределение Гаусса. Использование метода корреляций функции. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 2. Практические занятия | | | |
| 2.1 | Введение | Термодинамика и статистическая физика как теория макроскопических систем. Макроскопическое и микроскопическое описание физических систем. Термодинамические системы. Состояние термодинамического равновесия. Равновесные и неравновесные процессы. Абсолютная температура. Уравнение состояния. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 2.2 | Основные понятия и законы термодинамики | Работа, количество теплоты, внутренняя энергия. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики. Энтропия. Границы применимости второго начала. Третье начало термодинамики. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 2.3 | Методы и приложения термодинамики | Метод циклов. Термодинамические потенциалы. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |

| | | | |
|-----|--|--|---|
| | | | p?id=7392 |
| 2.4 | Основные представления статистической физики | Механическое и статистическое описания системы. Статистические ансамбли и функции распределения. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 2.5 | Общие методы статистической механики | Микроканоническое распределение. Статистический вес и энтропия. Вывод и истолкование основного уравнения термодинамики. Каноническое распределение Гиббса. Интеграл состояний и свободная энергия. Распределение по энергии. Связь канонического распределения с микроканоническим. Идеальный газ, парадокс Гиббса. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале. Квантовое каноническое распределение. Квантовый осциллятор. Постулат Нернста. Недостижимость абсолютного нуля температуры. Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал. Большое каноническое распределение. Большая статистическая сумма и термодинамический потенциал. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 2.6 | Статистическая теория идеальных систем | Идеальный одноатомный газ. Распределение Максвелла и Максвелла-Больцмана. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |
| 2.7 | Теория флуктуаций | Флуктуации основных термодинамических величин. Распределение Гаусса. Использование метода корреляций функции. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=7392 |

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

| № п/п | Наименование темы (раздела) дисциплины | Виды занятий (количество часов) | | | | Всего |
|-------|--|---------------------------------|--------------|--------------|------------------------|-------|
| | | Лекции | Практические | Лабораторные | Самостоятельная работа | |
| 1 | Введение | 2 | 0 | | 4 | 6 |
| 2 | Основные понятия и законы термодинамики | 6 | 4 | | 6 | 16 |
| 3 | Методы и приложения термодинамики | 4 | 6 | | 6 | 16 |
| 4 | Основные представления статистической физики | 6 | 8 | | 6 | 20 |
| 5 | Общие методы статистической механики | 8 | 12 | | 6 | 26 |
| 6 | Статистическая теория идеальных систем | 6 | 4 | | 6 | 16 |
| 7 | Теория флуктуаций | 2 | 0 | | 6 | 8 |
| | Итого: | 34 | 34 | | 40 | 108 |

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Освоение дисциплины складывается из аудиторной работы (учебной деятельности, выполняемой под руководством преподавателя) и внеаудиторной работы (учебной деятельности, реализуемой обучающимся самостоятельно).

Аудиторная работа состоит из работы на лекциях и выполнения практических (или лабораторных) заданий в объёме, предусмотренном учебным планом. Лекция представляет собой последовательное и систематическое изложение учебного материала, направленное на знакомство обучающихся с основными понятиями и теоретическими положениями изучаемой дисциплины. Лекционные занятия формируют базу для практических (или лабораторных) занятий, на которых полученные теоретические знания применяются для решения конкретных практических задач. Обучающимся для успешного освоения дисциплины рекомендуется вести конспект лекций и практических (лабораторных) занятий.

Самостоятельная работа предполагает углублённое изучение отдельных разделов дисциплины с использованием литературы, рекомендованной преподавателем, а также конспектов лекций, презентационным материалом (при наличии) и конспектов практических (лабораторных) занятий. В качестве плана для самостоятельной работы может быть использован раздел 13.1 настоящей рабочей программы, в котором зафиксированы разделы дисциплины и их содержание. В разделе 13.2 рабочей программы определяется количество часов, отводимое на самостоятельную работу по каждому разделу дисциплины. Больше количество часов на самостоятельную работу отводится на наиболее трудные разделы дисциплины. Для самостоятельного изучения отдельных разделов дисциплины используется перечень литературы и других ресурсов, перечисленных в пунктах 15 и 16 настоящей рабочей программы.

Успешность освоения дисциплины определяется систематичностью и глубиной аудиторной и внеаудиторной работы обучающегося. При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей, вовремя подключаться к online занятиям, ответственно подходить к заданиям для самостоятельной работы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

| № п/п | Источник |
|-------|---|
| 1 | Савельев, И. В. Курс общей физики : учебное пособие для вузов : в 5 томах / И. В. Савельев. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022 — Том 3 : Молекулярная физика и термодинамика — 2022. — 212 с. — ISBN 978-5-8114-9197-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/187739 |

б) дополнительная литература:

| № п/п | Источник |
|-------|--|
| 1 | Иродов, И. Е. Задачи по общей физике : учебное пособие для вузов / И. Е. Иродов. — 20-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 420 с. — ISBN 978-5-507-47570-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/392375 |

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

| № п/п | Ресурс |
|-------|--|
| 1 | ЗНБ ВГУ: https://lib.vsu.ru/ |
| 2 | Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека online": http://biblioclub.ru/ |
| 3 | Электронно-библиотечная система "Лань": https://e.lanbook.com/ |

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

| № п/п | Источник |
|-------|--|
| 1 | Иродов, И. Е. Задачи по общей физике : учебное пособие для вузов / И. Е. Иродов. — 20-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 420 с. — ISBN 978-5-507-47570-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/392375 |

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации дисциплины могут использоваться технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии на базе портала edu.vsu.ru, а также другие доступные ресурсы сети Интернет.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Аудитория для лекционных занятий: мультимедиа-проектор, экран для проектора, компьютер с выходом в сеть «Интернет». Специализированная мебель (столы ученические, стулья, доска). Программное обеспечение: LibreOffice v.5-7, программа для просмотра файлов формата pdf, браузер.

Аудитория для практических занятий: специализированная мебель, доска.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

| № п/п | Наименование раздела дисциплины (модуля) | Компетенции | Индикаторы достижения компетенции | Оценочные средства |
|--|--|-------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 1. | Разделы 1-7 | ОПК-1 | ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3 | Контрольные работы |
| Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен | | | | Перечень вопросов к экзамену |

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью контрольных работ.

Примеры вариантов контрольных работ

Контрольная работа № 1

Вариант 1

Часть А

1. Как изменяется внутренняя энергия идеального газа при адиабатном расширении?
2. При изотермическом сжатии идеального газа внешними силами совершена работа A над газом. Чему равно количество теплоты Q , полученное газом в этом процессе, и изменение внутренней энергии газа?
3. Получает или отдает теплоту газ, если при уменьшении его внутренней энергии на 100 Дж над ним совершили работу 300 Дж? Чему равно это количество теплоты?

- 4 . Дайте геометрическое толкование количества теплоты, подтвердив его законами термодинамики.
5. За один цикл идеальный газ получил от нагревателя количество теплоты Q_1 , отдал холодильнику количество теплоты Q_2 , совершил работу A и возвратился в исходное состояние. Чему равно изменение внутренней энергии газа в результате этих процессов?
6. В каком процессе объем газа линейно увеличивается с ростом температуры?
7. Напишите квантовое распределение Гиббса и условие нормировки для него.
8. Как найти энтропию изотермической системы с постоянным числом частиц?
9. Какое из фазовых распределений описывает изотермическую систему с переменным числом частиц? Поясните смысл обозначений.
10. Напишите выражение для функции Гамильтона находящегося во внешнем поле идеального одноатомного газа, состоящего из N частиц.
11. Объясните смысл множителя $1/(2\pi\hbar)^{Nf}$ в выражении для фазового объема.
12. Дайте определение относительной флуктуации.
13. Сформулируйте теорему Лиувилля.
14. Напишите условие нормировки большого канонического распределения.
15. Что является основной расчетной характеристикой адиабатически изолированной системы и почему?

Часть В

1. Метод термодинамических потенциалов: термодинамический потенциал Гиббса.
2. Механическое описание системы. Фазовое пространство.

Часть С

1. Найти связь между теплоемкостями C_p и C_v для идеального газа.
2. Для изотермической системы N невзаимодействующих линейных гармонических осцилляторов, помещенной в однородное электрическое поле напряженности E , рассчитать свободную энергию (частоты и заряды осцилляторов одинаковы и равны w и e соответственно).

Описание технологии проведения

Контрольная работа проводится в письменной форме.

Обучающемуся случайным образом дается один из вариантов. На выполнение предоставляется 2 академических часа.

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания): за успешное выполнение заданий из части А дается 2 балла, из частей В и С – 5 баллов. Максимальная оценка за решение заданий из частей В и С ставится, если работа содержит полное, логически обоснованное и аккуратно оформленное решение (изложение теоретического материала), сопровождающееся всеми необходимыми расчетами. При наличии ошибок и недочетов оценка снижается. Если учащийся допускает грубые ошибки, демонстрируя тем самым непонимание сути проблемы и незнание базового материала, то ставится оценка 0 баллов.

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: перечень вопросов к экзамену.

Перечень вопросов к экзамену

1. Введение

Термодинамика и статистическая физика как теория макроскопических систем.

Термодинамические системы. Состояние термодинамического равновесия. Равновесные и неравновесные процессы.

Абсолютная температура. Уравнение состояния.

2. Основные понятия и законы термодинамики

Работа, количество теплоты, внутренняя энергия. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики. Энтропия. Границы применимости второго начала.

Третье начало термодинамики.

3. Методы и приложения термодинамики Метод циклов.

Метод термодинамических потенциалов.

4. Основные представления статистической физики

Механическое и статистическое описания системы.

Статистические ансамбли и функции распределения.

Фазовое пространство. Теорема Лиувилля.

5. Общие методы статистической механики

Микроканоническое распределение.

Статистический вес и энтропия. Вывод и истолкование основного уравнения термодинамики.

Каноническое распределение Гиббса.

Интеграл состояний и свободная энергия. Распределение по энергии. Связь канонического распределения с микроканоническим.

Идеальный газ, парадокс Гиббса.

Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.

Теорема о вириале.

Квантовое каноническое распределение.

Квантовый осциллятор.

Постулат Нернста. Недостижимость абсолютного нуля температуры.

Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал. Большое каноническое распределение. Большая статистическая сумма и термодинамический потенциал.

6. Статистическая теория идеальных систем

Идеальный одноатомный газ. Распределение Максвелла и Максвелла-Больцмана.

7. Теория флуктуаций

Флуктуации основных термодинамических величин.

Распределение Гаусса. Использование метода корреляций функции.

Описание технологии проведения

Обучающемуся случайным образом дается один из экзаменационных билетов. Затем на подготовку предоставляется 2 академических часа. За отведенное время обучающийся должен письменно выполнить задания билета. После этого проводится собеседование, в ходе которого могут быть заданы уточняющие и дополнительные вопросы. При успешном ответе на дополнительные вопросы обучающийся может получить от 0 до 10 дополнительных баллов.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания. Максимальная оценка за каждый вопрос – 25 баллов.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:

- 1) знание формулировок физических законов и выражающих их математические уравнения;
- 2) знание базовых методов термодинамики и статистической физики;
- 3) умение понимать суть физических законов;
- 4) умение применять физические законы при рассмотрении явлений природы;
- 5) владение навыками на основе имеющихся знаний качественно и количественно описывать изученные физические явления и процессы.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

| Критерии оценивания компетенций | Уровень сформированности компетенций | Шкала оценок |
|---|--------------------------------------|---------------------|
| Дан полный, развёрнутый ответ на поставленный вопрос (вопросы), обучающийся свободно оперирует основными понятиями дисциплины, ориентируется в предметной области. Изложение материала не содержит ошибок, отличается последовательностью, грамотностью, логической стройностью. | Повышенный уровень | Отлично |
| Дан развёрнутый ответ на поставленный вопрос (вопросы), обучающийся свободно оперирует основными понятиями дисциплины, ориентируется в предметной области. Материал изложен в целом последовательно и грамотно, отсутствуют грубые ошибки, однако имеются отдельные неточности в определениях, вычислениях, доказательствах, изложениях положений теории. | Базовый уровень | Хорошо |
| Ответ на поставленный вопрос (вопросы) содержит изложение только базового теоретического материала, имеются ошибки в определениях, вычислениях, доказательствах, формулировках положений теории. Нарушена логическая последовательность в изложении материала. | Пороговый уровень | Удовлетворительно |
| Ответ на поставленный вопрос (вопросы) отсутствует, либо содержит грубые ошибки в определениях, вычислениях, доказательствах, формулировках положений теории. Обучающийся не владеет основными понятиями дисциплины. Отсутствует логическая последовательность в изложении материала. | – | Неудовлетворительно |