

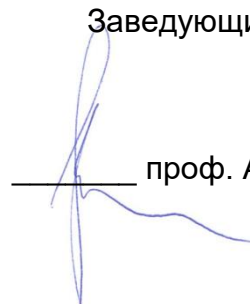
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

МиКМ

проф. А.В. Ковалев
21.03.2025г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.34 Общая физика

1. Код и наименование направления подготовки:

01.03.03 Механика и математическое моделирование.

2. Профиль подготовки:

Компьютерный инжиниринг в механике сплошных сред

3. Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

4. Форма обучения: Очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: Механики и компьютерного моделирования

6. Составители программы: Гоцев Дмитрий Викторович, доктор физ-мат. наук, профессор, факультет ПММ, кафедра МиКМ, rbgotsev@mail.ru

7. Рекомендована: НМС факультета Прикладной математики, информатики и механики № 6 от 17.03.2025

8. Учебный год: 2028 - 2029

Семестр(-ы): 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения дисциплины являются:

изучение фундаментальных понятий физики и ее приложение к современным задачам.

Задачи учебной дисциплины:

Задачей изучения дисциплины является ознакомление студентов с современными и классическими подходами, используемыми в физике, при решении прикладных задач.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: Дисциплина относится к обязательной части Блока 1.Дисциплины (модули) Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: математический анализ, линейная алгебра, аналитическая геометрия, дифференциальные уравнения. Освоение дисциплины позволит в дальнейшем изучать дисциплины: математическое моделирование, физико-механический практикум и вычислительный эксперимент, а также специальные курсы по профилю подготовки.

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 использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности	ОПК-1.1	Решает типовые задачи с учетом основных понятий и общих закономерностей, сформулированных в рамках базовых дисциплин математики, информатики и естественных наук.	Знать: основные положения, законы и методы молекулярной физики, термодинамики, роль и место молекулярной физики и термодинамики в современной научной картине мира, границы применимости законов молекулярной физики и термодинамики Уметь: понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области молекулярной физики и термодинамики, пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами, моделями и методами молекулярной физики и термодинамики Владеть: основными понятиями, законами, моделями и методами молекулярной физики и термодинамики, навыками обработки и анализа теоретической информации в области молекулярной физики и термодинамики

		ОПК-1.2	Применяет системный подход и математические методы в формализации решения прикладных задач.	Знать: принципы использования на практике основных положений, законов и методов молекулярной физики и термодинамики Уметь: выбирать методы анализа и исследований для подтверждения теоретических положений молекулярной физики, и термодинамики, представлять и интерпретировать результаты теоретических исследований Владеть: навыками применения теоретических методов исследования в области молекулярной физики и термодинамики, навыками представления и интерпретации результатов теоретических исследований навыками решения проблем, возникающих в ходе исследований, с привлечением необходимого физико-математического аппарата
--	--	---------	--	---

12. Структура и содержание учебной дисциплины:
Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 4/144.

Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен) экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	В том числе в интерактивной форме	По семестрам
			№ 7
Аудиторные занятия	80		
В том числе: лекции	32		32
практические	48		48
лабораторные			
Самостоятельная работа	28		28
Форма промежуточной аттестации - экзамен	36		36
Итого:	144		144

13.1 Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1	Молекулярная физика. Идеальный газ. Уравнение состояния.	Молекулярно-кинетические представления о веществе. Основные величины характеризующие атомы и молекулы. Агрегатные состояния вещества. Статистический и термодинамический методы.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
2	Молекулярная физика. Идеальный газ. Уравнение состояния.	Идеальный газ. Давление и абсолютная температура. Постоянная Больцмана. Основное уравнение элементарной кинетической теории газов. Уравнение Менделеева - Клайперона.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
3	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Внутренняя энергия. Работа, теплота. Первый закон термодинамики.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
4	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Обратимые и необратимые процессы. Циклы. Функции состояния. Теплоемкость. Энтальпия. Соотношение между теплоемкостями.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
5	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Процессы в идеальном газе. Принцип работы тепловой машины ее КПД.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
6	Энтропия. Второе начало термодинамики.	Цикл Карно. Теоремы Карно. Принцип Кельвина. Энтропия. Термодинамическое тождество. Неравенство Клаузиуса. Второй закон термодинамики.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944

7	Термодинамические потенциалы	Термодинамические потенциалы, соотношения Максвелла. Взаимодействие молекул в реальном газе. Эффективный диаметр молекул. Потенциал Леннарда-Джонса. Понятие критической температуры.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
8	Фазовые переходы. Газ Ван-дер-Ваальса.	Фазовые переходы 1 рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Фазовая диаграмма. Уравнение Ван-дер-Ваальса.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
9	Фазовые переходы. Газ Ван-дер-Ваальса.	Изотермы уравнения Ван-дер-Ваальса. Метастабильные состояния. Критические параметры вещества. Эффект Джоуля-Томсона. 3 закон термодинамики.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
2. Практические занятия			
1	Молекулярная физика. Идеальный газ. Уравнение состояния.	Идеальный газ. Давление и абсолютная температура. Постоянная Больцмана. Основное уравнение элементарной кинетической теории газов. Уравнение Менделеева - Клайперона.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
2	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Внутренняя энергия. Работа, теплота. Первый закон термодинамики. Циклы. Функции состояния. Теплоемкость. Энтальпия. Соотношение между теплоемкостями.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
5	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	Процессы в идеальном газе. Принцип работы тепловой машины ее КПД.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
6	Энтропия. Второе начало термодинамики.	Цикл Карно. Теоремы Карно. Принцип Кельвина. Энтропия. Термодинамическое тождество. Неравенство Клаузиуса. Второй закон термодинамики.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
7	Фазовые переходы. Газ Ван-дер-Ваальса.	Уравнение Ван-дер-Ваальса.	Курс «Молекулярная физика и термодинамика» https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944

13.2 Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Практические занятия	СРС	Всего
1.	Молекулярная физика. Идеальный газ. Уравнение состояния.	4	8	2	14
2.	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	6	14	4	24
3.	Энтропия. Второе начало термодинамики.	8	20	6	34
4.	Термодинамические потенциалы	8		8	16
5.	Фазовые переходы. Газ Ван-дер-Ваальса.	6	6	8	20
6.	Подготовка к экзамену	0	0	36	36
	Итого	32	48	64	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: указание наиболее сложных разделов, работа с конспектами лекций, презентационным материалом,

рекомендации по выполнению курсовой работы, по организации самостоятельной работы по дисциплине и др)

На лекционных занятиях студенты знакомятся с основными понятиями курса, их логической взаимосвязью. Изучение тем начинается с лекций, которые составляют основу теоретической подготовки студентов. Лекции читаются с использованием технических средств обучения. На самостоятельной работе студенты развивают и углубляют полученные знания. Знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме, выполнение индивидуальных заданий. Практические занятия позволяют развивать у студентов творческое теоретическое мышление, умение самостоятельно изучать литературу, анализировать практику; учат четко формулировать мысль, вести дискуссию, то есть имеют исключительно важное значение в развитии самостоятельного мышления. При подготовке к практическим занятиям необходимо повторить основные положения и понятия по теме занятия. При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей по работе на LMS-платформе, своевременно подключаться к online-занятиям, соблюдать рекомендации по организации самостоятельной работы.

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

(список оформляется в соответствии с требованиями ГОС и ФГОС, используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Матвеев А. Н. Молекулярная физика. Высшая школа 2006. [Электронный ресурс] <URL: https://www.studmed.ru/matveev-an-molekulyarnaya-fizika_535eedb06c2.html
2	Иродов И.Е. Задачи по общей физике. М.- Наука. 2010 [Электронный ресурс] <URL: https://studizba.com/files/show/pdf/37041-1-i-e-irodov--zadachi-po-obschey-fizike.html

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	Базаров И.П. Термодинамика. М.- Высшая школа 1983. [Электронный ресурс] <URL: https://studizba.com/files/show/djvu/3385-1-bazarov-i-p-termodinamika.html
2.	Савельев И.В. Курс общей физики в 3 томах. М.- Наука. 1970 [Электронный ресурс] <URL: http://www.orenport.ru/images/doc/833/Saveliev1.pdf

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1	Электронная библиотека ВГУ www.lib.vsu.ru
2	Научно-образовательный центр при МИАН http://www.mi.ras.ru/
3	Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ http://lib.mexmat.ru/

4	Термодинамика / Д.В. Гоцев. — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». – – Режим доступа: https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944
---	---

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы:

(учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

Самостоятельная работа обучающегося должна включать подготовку к практическим занятиям и подготовку к промежуточной аттестации.

Для обеспечения самостоятельной работы студентов в электронном курсе дисциплины на образовательном портале «Электронный университет ВГУ» сформирован учебно-методический комплекс Молекулярная физика и термодинамика, <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944>, который включает в себя: программу курса, учебные пособия и справочные материалы, методические указания по выполнению заданий. Студенты получают доступ к данным материалам на первом занятии по дисциплине.

Указанные в учебно-методическом комплексе учебные пособия и справочные материалы, приведены в таблице ниже:

№ п/п	Источник
1	Матвеев А. Н. Молекулярная физика. Высшая школа 2006. [Электронный ресурс] <URL: https://www.studmed.ru/matveev-an-molekulyarnaya-fizika_535eedb06c2.html
2	Иродов И.Е. Задачи по общей физике. М.- Наука. 2010 [Электронный ресурс] <URL: https://studizba.com/files/show/pdf/37041-1-i-e-irodov--zadachi-po-obschey-fizike.html
1.	Базаров И.П. Термодинамика. М.- Высшая школа 1983. [Электронный ресурс] <URL: https://studizba.com/files/show/djvu/3385-1-bazarov-i-p-termodynamika.html
2.	Савельев И.В. Курс общей физики в 3 томах. М.- Наука. 1970 [Электронный ресурс] <URL: http://www.orenport.ru/images/doc/833/Saveliev1.pdf
1	Электронная библиотека ВГУ www.lib.vsu.ru
2	Научно-образовательный центр при МИАН http://www.mi.ras.ru/
3	Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ http://lib.mexmat.ru/
4	Термодинамика / Д.В. Гоцев. — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». – – Режим доступа: https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944

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

При реализации дисциплины могут проводиться различные типы лекций (вводная, обзорная и т.д.), применяться дистанционные образовательные технологии в части освоения лекционного материала, самостоятельной работы по дисциплине или отдельным ее разделам.

При реализации дисциплины используются следующие образовательные технологии: логическое построение дисциплины, обозначение теоретического и практического компонентов в учебном материале. Применяются разные типы лекций (вводная, обзорная, информационная, проблемная).

Информационные технологии для реализации учебной дисциплины:

- технологии синхронного и асинхронного взаимодействия студентов и преподавателя посредством служб (сервисов) по пересылке и получению

электронных сообщений, в том числе, по сети Интернет а также другие Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.;

- сервис электронной почты для оперативной связи преподавателя и студентов.

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, для организации самостоятельной работы обучающихся используется онлайн-курс, размещенный на платформе Электронного университета ВГУ <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=15944>, а также другие Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины: Лекционная аудитория должна быть оборудована учебной мебелью, компьютером, мультимедийным оборудованием (проектор, экран, средства звуковоспроизведения), допускается переносное оборудование. Практические занятия должны проводиться в специализированной аудитории, оснащенной учебной мебелью и персональными компьютерами с доступом в сеть Интернет (компьютерные классы, студии), мультимедийным оборудованием (мультимедийный проектор, экран, средства звуковоспроизведения), Число рабочих мест в аудитории должно быть таким, чтобы обеспечивалась индивидуальная работа студента на отдельном персональном компьютере.

Для самостоятельной работы необходимы компьютерные классы, помещения, оснащенные компьютерами с доступом к сети Интернет.

Программное обеспечение: ОС Windows 8 (10), интернет-браузер (Chrome, Яндекс.Браузер, Mozilla Firefox), ПО Adobe Reader, пакет стандартных офисных приложений для работы с документами, таблицами (MS Office, МойОфис, LibreOffice).

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)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Молекулярная физика. Идеальный газ. Уравнение состояния.	ОПК-1	ОПК-1.1	Собеседование. Практикоориентированные задания
2.	Первое начало термодинамики. Процессы. Теплоемкость	ОПК-1	ОПК-1.1	Собеседование. Практикоориентированные задания
3	Энтропия. Второе начало термодинамики.	ОПК-1	ОПК-1.2	Собеседование. Практикоориентированные задания
4	Термодинамические потенциалы	ОПК-1	ОПК-1.2	Собеседование. Практикоориентированные задания
5	Фазовые переходы. Газ Ван-дер-Ваальса.	ОПК-1	ОПК-5.1	Собеседование. Практикоориентированные задания
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Перечень вопросов

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Практикоориентированные задания/домашние задания

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

Перечень заданий из задачников и пособий из п.16

Описание технологии проведения. Контроль проводится путем проверки выполненных упражнений

Шкалы и критерии оценивания

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Обосновано получено правильное решение задачи.
Хорошо	Обосновано получено правильное решение задачи, но есть (не более одной) ошибка вычислительного характера.
Удовлетворительно	Верно выбран метод решения. Получено решение задачи но есть более одной ошибки вычислительного характера
Неудовлетворительно	Неправильное решение задачи, причем неверно выбран метод решения.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по экзаменационным билетам

(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)

Вопросы к экзамену

1. Молекулярно кинетические представления о веществе (молекула, атомный и молекулярный вес, количество вещества, постоянная Авогадро)
2. Статистический и термодинамический методы
3. Идеальный газ. Давление и абсолютная температура
4. Уравнение состояния Менделеева-Клайперона
5. Внутренняя энергия и работа идеального газа
6. Теплота. Первый закон термодинамики
7. Обратимые и необратимые процессы
8. Параметры состояния. Равновесное состояние. Квазистатический процесс
9. Обратимый процесс и необратимые процессы. Свойство обратимого процесса
10. Цикл. Функция состояния.
11. Теплоемкость. Энтальпия. Соотношение между теплоемкостями. Формула Майера
12. Изобарический процесс. Нахождение температуры и работы
13. Изохорический процесс. Нахождение Давления и работы
14. Изотермический процесс. Определение давления и работы
15. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты в переменных T, V и в переменных P, V . Определение работы
16. Сравнение работы при адиабатическом и изотермическом процессах
17. Политропический процесс. Уравнение политропы в переменных T, V и в переменных P, V .
18. Принцип работы тепловой машины. КПД тепловой машины.
19. Цикл Карно. КПД цикла Карно.
20. Первая теорема Карно и ее физическое объяснение. Вторая теорема Карно

21. Принцип Кельвина.
22. Энтропия
23. Второй закон термодинамики для обратимых процессов (термодинамическое тождество)
24. Неравенство Клаузиуса. Второй закон термодинамики для необратимых процессов
25. Термодинамические потенциалы. Свободная энергия и энергия Гиббса. Соотношения Максвелла (свойства смешанных производных)
26. Межмолекулярные взаимодействия
27. Термодинамические потенциалы сложных систем и систем с переменным числом частиц
28. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости для случая изолированной системы ($U=const$, $V=const$, $N=const$)
29. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости для случая системы в термостате при постоянном объеме ($T=const$, $V=const$, $N=const$)
30. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости для случая системы в термостате под постоянным внешним давлением ($T=const$, $P=const$, $N=const$)
31. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы
32. Принцип Ле-Шателье-Брауна
33. Фазовые переходы первого рода
34. Газ Ван-дер-Ваальса. Уравнение состояния Ван-дер-Ваальсовского газа
35. Изотермы уравнения Ван-дер-Ваальса
36. Сжимаемость газа
37. Поверхностное натяжение и давление
38. Роль поверхностного натяжения при образовании новой фазы
39. Охлаждение газа при необратимом адиабатном расширении. Эффект Джоуля-Томсона
40. Охлаждение газа при обратимом адиабатном расширении
41. Третий закон термодинамики

Описание технологии проведения. Экзамен проводится на основе КИМ, составленных на основе вопросов для подготовки к экзамену.

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Полные и точные ответы на 2 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
Хорошо	Полные и точные ответы на 2 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
Удовлетворительно	Полный и точный ответ на 1 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
Неудовлетворительно	Ответ не более чем на 1 вопрос экзаменационного билета

20.3 Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении

диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).

ОПК-1

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

1. Из предложенных ответов выберите уравнение состояния идеального газа.

☐ $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$
☒ $pV = \frac{m}{M} \cdot RT$
☐ $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$
☐ $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$

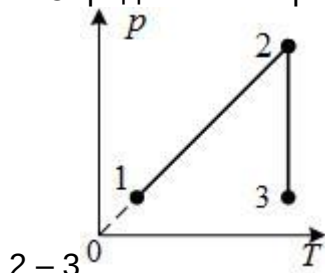
2. Углекислый газ массой 88 кг при давлении $3 \cdot 10^5$ Па и температуре 27°C занимает объем ...

☒ $16,62 \text{ м}^3$
☐ $8,31 \text{ м}^3$
☐ $1,67 \text{ м}^3$
☐ $0,0831 \text{ м}^3$

3. При изотермическом расширении газа его давление уменьшается, так как уменьшается ...

- ☒ концентрация молекул
 ☐ средняя кинетическая энергия
☐ масса газа
 ☐ объем газа

4. Определите по графику изменение объема идеального газа при переходах 1 – 2 и

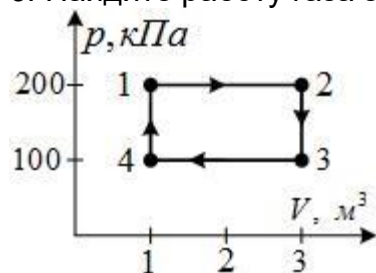


- ☐ 1 - 2 не изменится, 2 - 3 уменьшится
 ☐ 1 - 2 уменьшится, 2 - 3 уменьшится
☒ 1 - 2 не изменится, 2 - 3 увеличится
 ☐ 1 - 2 увеличится, 2 - 3 увеличится

5. При уменьшении давления в 1,5 раза и уменьшения массы в 6 раз установилась температура 600 K . Определите, на сколько градусов изменилась температура?

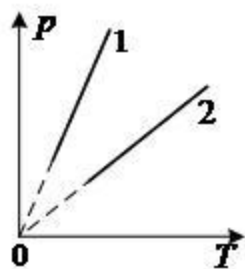
☒ 450 K
☐ 400 K
☐ 150 K
☐ 100 K

6. Найдите работу газа за термодинамический цикл, представленный на графике



☒ 200 Дж
☐ 300 Дж
☐ 400 Дж
☐ 600 Дж

7. В двух одинаковых сосудах нагревают один и тот же газ разной массы. Зависимость давления газа от температуры в этих сосудах представлена на рисунке. Сравните массы газов в сосудах.



• $m_1 > m_2$ • $m_1 < m_2$ • $m_1 = m_2$ • надо знать объем сосудов

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

1. Выведите соотношение между теплоемкостями газа при изобарическом и изохорическом процессах в общем виде

Пример ответа:

Уравнение состояния в общем случае представимо в виде $f(P, V, T) = 0$. Пусть независимыми будут T и V , тогда $U = U(T, V)$. Следовательно,

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV.$$

Из первого закона термодинамики

$$\delta Q = dU + PdV = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] dV.$$

С учетом последнего равенства теплоемкость определится в виде

$$C = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] \cdot \frac{dV}{dT}.$$

зависит
от характера
процесса

При $dV = 0$ имеем $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$, при $dP = 0$ имеем $C_P = C_V + \left[P + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T \right] \cdot \left(\frac{dV}{dT} \right)_P$

2. Получите уравнение адиабаты Пуассона

Пример ответа:

Уравнение, связывающее параметры состояния в адиабатическом процессе называется *уравнением адиабаты Пуассона*.

Из первого закона термодинамики $dU + \delta A = 0 \Rightarrow C_V dT + PdV = 0$.

Откуда $C_V \frac{dT}{T} + \frac{P}{C_V T} dV = 0$, учитывая, что $\frac{P}{T} = \frac{R}{V}$, получим $\frac{dT}{T} + \frac{R}{C_V V} dV = 0$. Из

формулы Майера $R = C_P - C_V$. Обозначим $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$. Тогда

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \frac{dV}{V} = 0 \Rightarrow \frac{dT}{T} = -(\gamma - 1) \frac{dV}{V} \Rightarrow \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = -(\gamma - 1) \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = -(\gamma - 1) \ln \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{(\gamma - 1)} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{(\gamma - 1)} \Rightarrow T_1 V_1^{(\gamma - 1)} = T_2 V_2^{(\gamma - 1)} \Rightarrow$$

$TV^{(\gamma - 1)} = const$ уравнение адиабаты в переменных T, V .

Учитывая, что $T = \frac{PV}{R}$, получим уравнение адиабаты в переменных P, V :

$$PV^\gamma = const$$

3. Выведите формулу для работы газа при адиабатическом расширении.

Пример ответа:

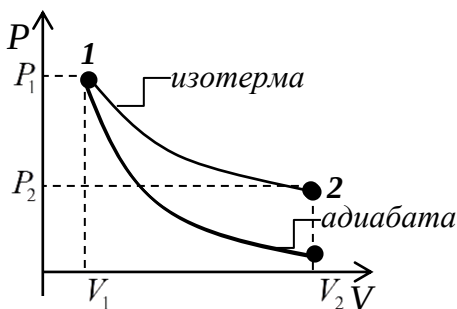
$$A = \int_1^2 P dV \quad \left| \begin{array}{l} PV^\gamma = const \Rightarrow P V_1^\gamma = P V^\gamma \Rightarrow P = \frac{P V_1^\gamma}{V^\gamma} \\ \Rightarrow A = \frac{P V_1}{1 - \gamma} (V_2^{1 - \gamma} V_1^{\gamma - 1} - V_1^{1 - \gamma} V_1^{\gamma - 1}) = \frac{R T_1}{\gamma - 1} \left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right) \end{array} \right. \Rightarrow A = P_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{P V_1^\gamma}{1 - \gamma} (V_2^{1 - \gamma} - V_1^{1 - \gamma}) \Rightarrow$$

Так как, $TV^{(\gamma - 1)} = const \Rightarrow T_1 V_1^{(\gamma - 1)} = T_2 V_2^{(\gamma - 1)} \Rightarrow \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} = \frac{T_2}{T_1}$, то

$$\Rightarrow A = \frac{P V_1}{1 - \gamma} (V_2^{1 - \gamma} V_1^{\gamma - 1} - V_1^{1 - \gamma} V_1^{\gamma - 1}) \Rightarrow A = \frac{R}{\gamma - 1} (T_1 - T_2).$$

4. Проведите сравнительный анализ величин работы при изотермическом и адиабатическом расширениях газа на одинаковую величину из общей начальной точки

Пример ответа:



Работа при адиабатическом процессе всегда меньше, чем при изотермическом процессе $A_{ад} < A_{изот}$. Это связано с тем, что в изотермическом процессе $T = const$ и давление уменьшается только за счет уменьшения плотности. В адиабатическом процессе, как следует из (*), при $dV > 0 \Rightarrow dT < 0$ и давление падает дополнительно за счет уменьшения температуры. Поэтому $\int_1^2 P dV$ в адиабатическом

процессе оказался меньше

5. Сформулируйте первый закон термодинамики и его основные следствия

Пример ответа:

1 формулировка. Работа, совершаемая системой равна разности между количеством подведенной теплоты и изменением ее внутренней энергии:

$\delta A = \delta Q - dU$ в бесконечно малых величинах или $A = Q - \Delta U$ в конечных величинах.

2 формулировка. Изменение ΔU внутренней энергии неизолированной термодинамической системы равно разности между количеством теплоты Q , переданной системе, и работой A , совершенной системой над внешними телами.

$dU = \delta Q - \delta A$ в бесконечно малых величинах или $\Delta U = Q - A$ в конечных величинах.

3 формулировка. Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение работы над внешними телами.

$\delta Q = dU + \delta A$ в бесконечно малых величинах или $Q = \Delta U + A$ в конечных величинах.

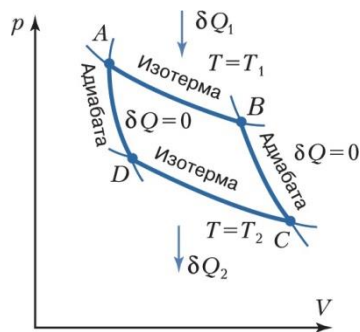
Согласно этому закону, энергия не может быть создана или уничтожена; она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую. Важным следствием первого закона термодинамики является утверждение о невозможности создания машины, способной совершать полезную работу без потребления энергии извне и без каких-либо изменений внутри самой машины. Любая машина может совершать положительную работу A над внешними телами только за счет получения некоторого количества теплоты Q от окружающих тел или уменьшения ΔU своей внутренней энергии.

Согласно этому закону, энергия не может быть создана или уничтожена; она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую.

7. Сформулируйте определение. Выведите формулу КПД цикла Карно. Сформулируйте теоремы Карно.

Пример ответа:

Круговой процесс, состоящий из двух изотерм и двух адиабат называется **циклом Карно**



к.п.д. цикла Карно:

$$Q^{(+)} = \int_1^2 \delta Q = \int_1^2 dU + \int_{V_1}^{V_2} PdV = RT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right), \quad Q^{(-)} = RT_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right).$$

Уравнения адиабаты Пуассона

$$\left. \begin{aligned} T_1 V_2^{\gamma-1} &= T_2 V_3^{\gamma-1}, \\ T_1 V_1^{\gamma-1} &= T_2 V_4^{\gamma-1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}.$$

Тогда,

$$\eta = 1 - \frac{Q^{(-)}}{Q^{(+)}} = 1 - \frac{RT_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)}{RT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)} \Rightarrow \boxed{\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}}.$$

Первая теорема Карно. Тепловая машина, работающая при данных значениях температур нагревателя и холодильника, не может иметь к.п.д. больший, чем машина, работающая по обратимому циклу Карно при тех же значениях температур нагревателя и холодильника. Другими словами к.п.д. обратимого цикла Карно максимальный.

Вторая теорема Карно. К.П.Д. цикла Карно не зависит от рабочего тела, а зависит лишь от температур нагревателя и холодильника

7. Сформулируйте понятие энтропии

Пример ответа:

Для обратимого цикла Карно мы получили $\frac{Q^{(+)}}{T_1} = \frac{Q^{(-)}}{T_2}$ или $\frac{Q^{(+)}}{T_1} - \frac{Q^{(-)}}{T_2} = 0$. Последнее

соотношение можно переписать в виде $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$.

Это соотношение может быть обобщено на любой замкнутый обратимый процесс.

Следовательно, для любого обратимого процесса $\oint \frac{\delta Q}{T}$ не зависит от пути и поэтому

отношение $\frac{\delta Q}{T}$ есть полный дифференциал некоторой функции состояния, то есть,

$$\frac{\delta Q}{T} = dS.$$

Функция S называется *энтропией* (Р. Клаузиус, 1865 г.). При этом $\int_A^B \frac{\delta Q}{T} = S_B - S_A$ -

разность значений энтропии в двух состояниях равна приведенному теплу, полученному системой при обратимом переходе из одного состояния в другое. Принято считать, что $S=0$ при $T=0$.

7. Сформулируйте второй закон термодинамики для обратимых и необратимых адиабатически замкнутых систем

Пример ответа:

$$TdS = dU + \delta A$$

- *второй закон термодинамики для обратимых процессов (или термодинамическое тождество).*

Из первой теоремы Карно следует, что

$$\eta_{необр} < \eta_{обр} \Rightarrow 1 - \left(\frac{Q^{(-)}}{Q^{(+)}} \right)_{необр} < 1 - \left(\frac{Q^{(-)}}{Q^{(+)}} \right)_{обр} \Rightarrow \left(\frac{Q^{(-)}}{Q^{(+)}} \right)_{необр} > \left(\frac{Q^{(-)}}{Q^{(+)}} \right)_{обр} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{Q^{(-)}}{T_2} > \frac{Q^{(+)}}{T_1} \Rightarrow$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} < 0.$$

Можно показать, что это неравенство, выполняется для любого кругового необратимого процесса.

Второй закон термодинамики для необратимых процессов.

Для замкнутой системы (т.е. изолированной от источников тепла) $\delta Q = 0$ и $S_2 - S_1 > 0$

Энтропия замкнутой (то есть адиабатически изолированной) системы при необратимом процессе растет – второй закон термодинамики для необратимых процессов.