

Документ подписан простой электронной подписью Информация о владельце: ФИО: Гаскаев Сергей Валерьевич Должность: Ректор Дата подписания: 17.03.2026 11:29:56 Уникальный программный ключ: 04c19ed8bfb98f3b6cb77a486b9a8788b8322323	МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)	Рабочая программа дисциплины "Молекулярная физика" по направлению подготовки (специальности) 03.03.03 Радиоп физика направленности (профиль) Телекоммуникационные системы и информационные технологии ФГБОУ ВО «ЧелГУ»	стр. 1
--	--	--	--------

## **Рабочая программа дисциплины (модуля)\***

Молекулярная физика

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 «Молекулярная физика» состоит в формировании у студентов естественнонаучного мировоззрения и фундаментальной базы знаний в области физики.

Основные задачи дисциплины: изучение студентами основных понятий и законов термодинамики и молекулярной физики. Знакомство с основными методами исследований, используемыми в физике.

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.02

#### 2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Механика

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

Статистическая физика

Термодинамика

Атомная физика

Оптика

Электричество и магнетизм

### 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: использовать базовые теоретические знания по молекулярной физике для решения профессиональных задач; понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию; пользоваться основными понятиями, законами и моделями молекулярной физики в профессиональной деятельности

#### **Уметь:**

Для достижения ОПК-1.2: использовать базовые теоретические знания по молекулярной физике; понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию; пользоваться основными понятиями, законами и моделями молекулярной физики

#### **Владеть:**

Для достижения ОПК-1.3: навыком решения конкретных физических задач; методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

#### **3.1 Знать:**

3.1.1 использовать базовые теоретические знания по молекулярной физике для решения профессиональных задач; понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию; пользоваться основными понятиями, законами и моделями молекулярной физики в профессиональной деятельности

#### **3.2 Уметь:**

3.2.1 использовать базовые теоретические знания по молекулярной физике; понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию; пользоваться основными понятиями, законами и моделями молекулярной физики

#### **3.3 Владеть:**



Рабочая программа дисциплины "Молекулярная физика" по направлению подготовки (специальности) 03.03.03 "Радиофизика" направленности (профилю) Телекоммуникационные системы и информационные технологии ФГБОУ ВО «ЧелГУ»		стр. 4
3.3.1	навыком решения конкретных физических задач; методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации	

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану : 108 в том числе : аудиторные занятия : 68 самостоятельная работа : 18,7 часов на контроль : 18 контактная работа: 71,3 ИКР: 3,3	Виды контроля в семестрах:  экзамены 2

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

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Литература
<b>Раздел 1. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа</b>				
1.1	Предмет изучения молекулярной физики. Молекулы, их характеристики: размеры, молекулярная и молярная масса, количество молей. Идеальный газ, законы идеального газа. Температура. Уравнение Клайперона–Менделеева. Основное уравнение МКТ идеального газа. Число степеней свободы молекул. Элементарные сведения из теории вероятностей. Распределение Максвелла и Максвелла-Больцмана. Барометрическая формула. Опытное обоснование МКТ. Длина свободного пробега молекул. /Лек/	2	12	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
1.2	Решение задач с использованием основных законов и уравнений МКТ идеального газа /Пр/	2	12	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
1.3	Молекулярные представления о веществе. Характеристики молекул. Законы идеального газа. Основные распределения для идеального газа. /Ср/	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
<b>Раздел 2. Термодинамика идеального газа</b>				
2.1	Основные понятия термодинамики. Первое начало термодинамики, работа и теплота. Теплоемкость, ее связь с числом степеней свободы молекул. Уравнения термодинамических процессов. Второе начало термодинамики. Цикл Карно и теоремы Карно. Неравенство Клаузиуса. Энтропия. Энтропия и вероятность. Термодинамические функции. /Лек/	2	10	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7



Рабочая программа дисциплины "Молекулярная физика" по направлению подготовки (специальности) 03.03.03 "Радиофизика" направленности (профилю) Телекоммуникационные системы и информационные технологии ФГБОУ ВО «ЧелГУ»		стр. 5		
2.2	Решение задач по термодинамике идеального газа /Пр/	2	10	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
2.3	Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Второе начало термодинамики. Энтропия. Термодинамические функции. /Ср/	2	5	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
<b>Раздел 3. Явления переноса</b>				
3.1	Теплопроводность, внутреннее трение и диффузия, уравнения этих процессов. Коэффициенты теплопроводности, вязкости и диффузии для идеального газа. /Лек/	2	4	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
3.2	Решение задач на явление переноса /Пр/	2	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
3.3	Явления переноса. Явления переноса в ультраразряженных газах /Ср/	2	4,7	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
<b>Раздел 4. Реальные газы и жидкости</b>				
4.1	Силы взаимодействия между молекулами. Уравнение газа Ван-дер-Ваальса, изотермы реального газа. Поверхностное натяжение. Фазовые переходы, уравнение Клайперона-Клаузиуса. Смачивание и несмачивание, краевой угол. Дополнительное давление над искривленной поверхностью жидкости. Капиллярные явления. Испарение и кипение жидкостей. Давление насыщенных паров. Перегретая жидкость, переохлажденный пар /Лек/	2	8	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
4.2	Решение задач на вычисление параметров реальных газов, поверхностное натяжение и капиллярные явления /Пр/	2	6	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7



Рабочая программа дисциплины "Молекулярная физика" по направлению подготовки (специальности) 03.03.03 "Радиофизика" направленности (профилю) Телекоммуникационные системы и информационные технологии ФГБОУ ВО «ЧелГУ»		стр. 6		
4.3	Реальные газы. Жидкости. /Ср/	2	5	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
<b>Раздел 5. Иная контактная работа</b>				
5.1	Индивидуальные консультации, текущий контроль /ИКР/	2	3,3	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7 Л1.8Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 6.1. Перечень видов оценочных средств

Отчет по практическим заданиям.  
Контрольные вопросы.

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

Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации представлены в Приложении 1.

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

Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации представлены в Приложении 2.

### 6.4. Критерии оценивания

Задания к практическим занятиям студенты выполняют в течение семестра на практических занятиях и в форме самостоятельной работы. Задачи сгруппированы по темам практических занятий. До экзамена у студента должна быть зачтена каждая из 6 обязательных тем практических занятий 1-го уровня сложности. По каждой теме студент получает задание, состоящее из 5 теоретических вопросов и 8 задач. Первые три теоретических вопроса являются обязательными. Если студент правильно ответил на первые три вопроса и решил 5 задач, то тема считается зачтенной. За каждую зачтенную тему студент получает определенное количество баллов, которое зависит от числа правильно решенных задач и от того, была ли данная тема зачтена вовремя. По темам практических занятий также предусмотрены задачи более высокого уровня сложности и дополнительная тема практического занятия «Реальные газы». Задачи по данным темам студент может решать и дистанционно.

Критерии оценивания заданий по темам практических занятий:

- Зачтены все темы 1-го и более высоких уровней сложности, дополнительная тема - 5-6 баллов;
- Зачтены все темы 1-го уровня, темы более высоких уровней сложности, дополнительная тема зачтены частично - 2-4 баллов;
- Зачтены темы 1-го уровня - 1-2 балла;
- Не зачтены темы 1-го уровня - 0 баллов.

Критерии оценивания экзаменационного теста:

- Отвечает на все теоретические вопросы и может обосновать ответы, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения, решает задачи и правильно обосновывает принятые решения. Возможны незначительные ошибки - 17-20 баллов;
- Студент твердо знает материал, отвечает на теоретические вопросы и может обосновать ответы, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения, решает задачи и обосновывает принятые решения. Допускаются негрубые ошибки при решении задачи или обосновании ответов на теоретические вопросы - 14-16 баллов;
- Знает «теоретический минимум», т.е. отвечает на вопросы базового уровня и знает основные понятия, соотношения, название и физический смысл величин. Решения задач вызывает большие затруднения - 11-13 баллов;
- Не может ответить на вопрос базового уровня - 0-10 баллов.

При подведении итогов учитываются результаты текущей аттестации. Полученные за текущую аттестацию баллы суммируются с баллами, полученными при прохождении промежуточной аттестации:



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

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

стр. 7

Критерии оценивания экзамена:  
- неудовлетворительно - 0-10 баллов;  
- удовлетворительно - 11-13 баллов;  
- хорошо - 14-16 баллов;  
- отлично - 17-20 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	Козырев А. В.	Термодинамика и молекулярная физика: учебное пособие ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=208984">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=208984</a> )	Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроник и, 2012	ЭБС
Л1.2	Барсуков В. И., Дмитриев О. С.	Молекулярная физика и начала термодинамики: учебное пособие ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=444634">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=444634</a> )	Тамбов : Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), 2015	ЭБС
Л1.3	Кузнецов С.И.	Молекулярная физика. Термодинамика: учебное пособие ( <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=158014">https://znanium.com/catalog/document?id=158014</a> )	Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2007	ЭБС
Л1.4	Склярова Е.А., Семкина Л.И., Кузнецов С.И.	Курс лекций по физике: Молекулярная физика. Термодинамика: учебное пособие ( <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=344725">https://znanium.com/catalog/document?id=344725</a> )	Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016	ЭБС
Л1.5	Иванов В. К.	Физика. Молекулярная физика: учебное пособие для вузов ( <a href="https://e.lanbook.com/book/450839">https://e.lanbook.com/book/450839</a> )	Санкт- Петербург : Лань, 2025	ЭБС
Л1.6	Кикоин А. К., Кикоин И. К.	Молекулярная физика: учебное пособие для вузов ( <a href="https://e.lanbook.com/book/448688">https://e.lanbook.com/book/448688</a> )	Санкт- Петербург : Лань, 2025	ЭБС
Л1.7	Иванов А.Е.	Молекулярная физика и термодинамика. Том 1: учебное пособие ( <a href="https://book.ru/book/921547">https://book.ru/book/921547</a> )	Москва : Русайнс, 2016	ЭБС
Л1.8	Иванов А.Е.	Молекулярная физика и термодинамика. Том 2: учебное пособие ( <a href="https://book.ru/book/921548">https://book.ru/book/921548</a> )	Москва : Русайнс, 2016	ЭБС

#### 7.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Ресурс
Л2.1	Матвеев А. Н.	Молекулярная физика: учебное пособие для студентов вузов	Москва : Оникс , 2006	



	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Ресурс
Л2.2	Гинзбург В. Л., Левин Л. М., Рабинович М. С., Сивухин Д. В., Сивухин Д. В.	Сборник задач по общему курсу физики: сборник задач и упражнений ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=75704">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=75704</a> )	Москва : Физматлит, 2006	ЭБС
Л2.3	Сивухин Д. В.	Общий курс физики: учебное пособие ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=82981">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=82981</a> )	Москва : Физматлит, 2002	ЭБС
Л2.4	Бакиева Д. Р., Гордеев М. Е., Григорьев Л. А., Кожина Г. Ю., Козяев Е. Ф., Гордеев М. Е., Масленников А. С.	Молекулярная физика. Термодинамика: лабораторный практикум: практикум ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483704">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483704</a> )	Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2017	ЭБС
Л2.5	Кисеев В. М., Береснев С. А.	Молекулярная физика: лабораторный практикум: практикум ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=699041">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=699041</a> )	Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2020	ЭБС
Л2.6	Фриш С. Э., Тиморева А. В.	Курс общей физики. В 3 томах. Том 1. Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны: учебник для вузов ( <a href="https://e.lanbook.com/book/463463">https://e.lanbook.com/book/463463</a> )	Санкт- Петербург : Лань, 2025	ЭБС

### 7.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Ресурс
Л3.1	Гусельников В. Д., Першин В. К., Яловец А. П.	Избранные вопросы и задачи по курсу "Молекулярная физика": методические указания	Челябинск : [Челябинский государственный университет], 1989	
Л3.2	Миронова Г. А., Брандт Н. Н., Салецкий А. М.	Молекулярная физика и термодинамика в вопросах и задачах ( <a href="https://e.lanbook.com/book/210875">https://e.lanbook.com/book/210875</a> )	Санкт- Петербург : Лань, 2022	ЭБС
Л3.3	Аксенова Е. Н.	Общая физика. Термодинамика и молекулярная физика (главы курса) ( <a href="https://e.lanbook.com/book/212687">https://e.lanbook.com/book/212687</a> )	Санкт- Петербург : Лань, 2022	ЭБС

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

Э1	ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a>
Э2	ЭБС издательства «Лань» <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Э3	ЭБС издательства «Инфра-М» <a href="http://znanium.com/">http://znanium.com/</a>
Э4	ЭБС «Юрайт» <a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>
Э5	Научная электронная библиотека Российской Академии Наук <a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a>
Э6	Научные и научно-популярные лекции <a href="http://elementy.ru">http://elementy.ru</a>
Э7	Учебно-методический сайт «Преподавателям и студентам» <a href="http://teachmen.csu.ru">http://teachmen.csu.ru</a>

### 7.3 Перечень информационных технологий

#### 7.3.1 Программное обеспечение

Adobe Reader
WinDjView
LibreOffice
Adobe Connect Acrobat
LMS Moodle

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



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

Рабочая программа дисциплины "Молекулярная физика" по направлению подготовки (специальности) 03.03.03 "Радиофизика" направленности (профилю) Телекоммуникационные системы и информационные технологии ФГБОУ ВО «ЧелГУ»	стр. 9
1. Электронный каталог научной библиотеки ЧелГУ [Электронный ресурс] : база данных / Челяб. гос. ун-т. – Челябинск, 1992.	
2. APS JOURNALS. Physical Review Letters, Physical Review X, Physical Review, and Reviews of Modern Physics : журналы American Physical Society : сайт. – URL: <a href="http://journals.aps.org/about">http://journals.aps.org/about</a> – 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: <a href="http://www.scopus.com/">http://www.scopus.com/</a> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.	
5. Springer Link : [сайт]. – URL: <a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.	
6. Конспекты лекций с демонстрациями и виртуальными лабораторными экспериментами на сайте <a href="http://teachmen.csu.ru">http://teachmen.csu.ru</a>	

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

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, 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).
Используется электронный читальный зал научной библиотеки ЧелГУ (аудитория 206) для самостоятельной работы студента, оснащенный персональными компьютерами, мультимедийной аппаратурой. В аудитории 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 «Молекулярная физика» 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. 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 с помощью специальных технических и программных средств к электронным источникам, 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.

Примеры вариантов заданий к практическим занятиям

Раздел 1. Молекулярно-кинетическая теория идеального газа

Идеальный газ

Базовый уровень

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
1	При каких условиях свойства реальных газов можно описывать законами идеального газа?	<b>1. в условиях, не слишком отличающихся от нормальных</b> 2. при низких температурах 3. среди ответов нет правильного 4. при больших давлениях
2	Как изменится давление идеального газа, если при неизменной концентрации средняя квадратичная скорость молекул увеличится в 2 раза?	1. останется неизменным 2. увеличится в 2 раза 3. уменьшится в 4 раза <b>4. увеличится в 4 раза</b> 5. уменьшится в 2 раза
3	Один моль в системе СИ является единицей измерения:	1. количества молекул в единице объема 2. атомной массы 3. молекулярной массы <b>4. количества вещества</b> 5. правильный ответ не приведен
4	Равные массы кислорода, азота и водорода поместили в одинаковые сосуды и содержат при одной и той же температуре. Наибольшее давление будет в сосуде с...	<b>1. водородом</b> 2. во всех сосудах будет одинаковое давление, т.к. температура газов одна и та же 3. азотом 4. кислородом
5	Чтобы в изобарном процессе объем газа увеличился вдвое по сравнению с объемом при 0°C, температуру газа нужно:	1. увеличить на 200 К <b>2. увеличить на 273 К</b> 3. увеличить на 546 К 4. увеличить на 372 К 5. уменьшить на 200 К

1. Какую температуру имеют 2 г молекулярного азота, занимающего объем 820 см<sup>3</sup> при давлении 0.2 МПа? Ответ дайте в °С. (276,3 К)
2. Давление воздуха внутри плотно закупоренной бутылки при температуре 7°C было 100 кПа. При нагревании бутылки пробка вылетела. До какой температуры нагрели бутылку, если известно, что пробка вылетела при давлении воздуха в бутылке 130 кПа? (364 К)
3. В баллоне находилось 10 кг газа при давлении 10 МПа. Какую массу газа взяли из баллона, если давление стало равным 2.5 МПа? Температуру газа считать постоянной. (7,5 кг)
4. Найдите массу воздуха, заполняющего аудиторию высотой 5 м и площадью пола 200 м<sup>2</sup>. Давление воздуха 100 кПа, температура помещения 17°C. Молярная масса воздуха равна 0.029 кг/моль. (1,2 т)

5. Во сколько раз плотность воздуха, заполняющего помещение зимой ( $t_1 = 7^\circ\text{C}$ ), больше его плотности летом ( $t_2 = 37^\circ\text{C}$ )? Давление газа можно считать постоянным. (в 1,1 раза)
6. Сосуд откачан до давления  $1,33 \cdot 10^{-9}$  Па. Температура воздуха  $15^\circ\text{C}$ . Найдите плотность воздуха в сосуде. ( $1,61 \cdot 10^{-14}$  кг/м<sup>3</sup>)
7. Считая, что в воздухе содержится 23.6% кислорода и 76.4% азота (по массе), найдите парциальное давление кислорода при температуре воздуха  $13^\circ\text{C}$  и давлении 100 кПа. (21277 Па, 78722,31 Па)
8. Какое число молекул находится в комнате объемом  $80 \text{ м}^3$  при температуре  $17^\circ\text{C}$  и давлении 100 кПа? ( $2 \cdot 10^{27}$ )

### **Средний уровень**

1. По газопроводной трубе идет углекислый газ при давлении  $5 \cdot 10^5$  Па и температуре  $17^\circ\text{C}$ . Какова скорость движения газа в трубе, если за  $\tau = 5$  мин протекает  $m = 2.5$  кг углекислого газа и если площадь сечения канала трубы  $S = 6 \text{ см}^2$ ? (0,00001 м/с)
2. Определите плотность смеси 4 г водорода и 32 г кислорода при температуре  $7^\circ\text{C}$  и при давлении 700 мм рт. ст. (0,48 кг/м<sup>3</sup>)
3. В запаянной с одного конца стеклянной трубке длиной 90 см, находится столбик воздуха, запертый сверху столбиком ртути высотой 30 см, доходящим до верхнего края трубки. Трубку осторожно переворачивают, причем часть ртути выливается. Какова столбика ртути, который останется в трубке, если атмосферное давление соответствует давлению столба ртути высотой 75 см? (3 см)
4. Баллон вместимостью  $V=5$  л содержит смесь гелия и водорода при давлении  $p=600$  кПа. Масса  $m$  смеси равна 4 г, массовая доля  $w_1$  гелия равна 0,6. Определить температуру  $T$  смеси. (259 К)
5. В сосуде вместимостью  $V=15$  л находится смесь азота и водорода при температуре  $t=23^\circ\text{C}$  и давлении  $p=200$  кПа. Определить массы смеси и ее компонентов, если массовая доля  $w_1$  азота в смеси равна 0,7. (4,81 г, 2,06 г)

### **Высокий уровень**

1. Моль таких газов, как гелий, водород, азот, кислород, занимает при нормальных условиях ( $t=0^\circ\text{C}$ ,  $p=1013$  гПа) объем, равный 22,4 л. Чему равно в этом случае: а) число  $n$  молекул газа в единице объема, б) среднее расстояние  $\langle a \rangle$  между молекулами? Сравните это расстояние с диаметром молекулы  $d$ . (0,3 нм, 330 нм)
2. В сосуде находится смесь кислорода и водорода. Масса  $m$  смеси равна 3,6 г. Массовая доля  $w_1$  кислорода составляет 0,6. Определить количество вещества  $\nu$  смеси,  $\nu_1$  и  $\nu_2$  каждого газа в отдельности. (0,0675 моль, 0,72 моль)
3. Баллон вместимостью  $V=30$  л содержит смесь водорода и гелия при температуре  $T=300$  К и давлении  $p=828$  кПа. Масса  $m$  смеси равна 24 г. Определить массу  $m_1$  водорода и массу  $m_2$  гелия. (8 г, 16 г)
4. Сухой воздух состоит в основном из кислорода и азота. Если пренебречь остальными составными частями воздуха, то можно считать, что массовые доли кислорода и азота соответственно  $w_1=0,232$ ,  $w_2=0,768$ . Определить относительную молекулярную массу  $M_r$  воздуха. (28,9 г/моль)
5. В сосуде вместимостью  $V=0,01 \text{ м}^3$  содержится смесь газов — азота массой  $m_1=7$  г и водорода массой  $m_2=1$  г — при температуре  $T=280$  К. Определить давление  $p$  смеси газов. (175 кПа)

## Молекулярно-кинетическая теория идеального газа.

### Базовый уровень

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
1	Молекулы каких газов - кислорода, водорода или азота, находящиеся в воздухе комнаты, - движутся быстрее?	<b>1. водорода</b> 2. скорости молекул всех газов одинаковы 3. кислорода 4. правильный ответ не приведён 5. азота
2	Какие явления доказывают, что молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении?	1. кристаллизация <b>2. испарение жидкости</b> <b>3. броуновское движение</b> 4. изменение объёма при нагревании 5. правильный ответ не приведён
3	Порядок диаметра молекулы ...	1. $10^{-2}$ м 2. $10^{-14}$ м 3. $10^{-6}$ м <b>4. <math>10^{-10}</math> м</b> 5. правильный ответ не приведен
4	Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул некоторого идеального газа увеличилась в 1.5 раза при одновременном уменьшении концентрации молекул в 2.25 раза. Как изменилось давление этого газа?	1. не изменилось 2. уменьшилось в 2.25 раза 3. увеличилось в 1.5 раза <b>4. уменьшилось в 1.5 раза</b> 5. увеличилось в 2.25 раза
5	Сравните давления $p_1$ водорода и $p_2$ кислорода, если концентрация газов и их среднеквадратичные скорости одинаковы.	1. $p_2 = 8 p_1$ <b>2. <math>p_2 = 16 p_1</math></b> 3. $p_2 = 4 p_1$ 4. $p_2 = p_1$ 5. правильный ответ не приведён

1. Определите среднюю арифметическую скорость молекул газа, если известно, что средняя квадратичная скорость их 1000 м/с. (0,92 км/с)
2. При подъеме вертолета на некоторую высоту барометр, находящийся в его кабине, изменил свое показание на 90 кПа. На какой высоте летит вертолет, если на взлетной площадке барометр показывал 100 Па? Температуру воздуха считать постоянной и равной 17° С. (892 м)
3. Какова плотность водорода, если средняя длина свободного пробега его молекул 0.1 см? ( $9,54 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>)
4. Микроскопическая пылинка углерода обладает массой 0.1 нг. Определите, из скольких молекул она состоит. ( $5 \cdot 10^{15}$ )
5. В сосуде вместимостью  $V=20$  л находится газ количеством вещества  $\nu=1,5$  кмоль. Определить концентрацию  $n$  молекул в сосуде. ( $4,52 \cdot 10^{28}$  м<sup>-3</sup>)

### Средний уровень

1. В баллоне вместимостью  $V=5$  л находится азот массой  $m=17,5$  г. Определить концентрацию  $n$  молекул азота в баллоне. ( $7,52 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>)
2. В двух одинаковых по вместимости сосудах находятся разные газы: в первом —

- водород, во втором — кислород. Найти отношение  $n_1/n_2$  концентраций газов, если массы газов одинаковы. (16)
- Газ массой  $m=58,5$  г находится в сосуде вместимостью  $V=5$  л. Концентрация  $n$  молекул газа равна  $2,2 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$ . Какой это газ? (Кислород)
  - Определить концентрацию  $n$  молекул идеального газа при температуре  $T=300$  К и давлении  $p=1$  мПа. ( $2,42 \cdot 10^{17} \text{ м}^{-3}$ )
  - Сколько молекул газа содержится в баллоне вместимостью  $V=30$  л при температуре  $T=300$  К и давлении  $p=5$  МПа? ( $3,62 \cdot 10^{25}$ )

### Высокий уровень

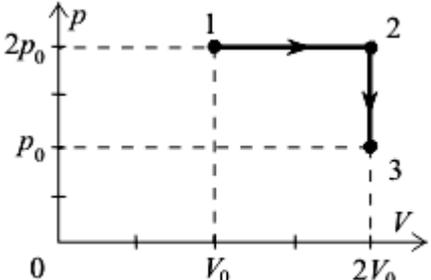
- В колбе вместимостью  $V=100 \text{ см}^3$  содержится некоторый газ при температуре  $T=300$  К. На сколько понизится давление  $p$  газа в колбе, если вследствие утечки из колбы выйдет  $N=10^{20}$  молекул? (4,14 кПа)
- Определить среднее значение  $\langle \epsilon \rangle$  полной кинетической энергии одной молекулы гелия при температуре  $T=400$  К. ( $8,28 \cdot 10^{-21}$  Дж)
- Для получения высокого вакуума в стеклянном сосуде необходимо прогревать его при откачке с целью удалить адсорбированные газы. Определить, на сколько повысится давление в сферическом сосуде радиусом  $R=10$  см, если все адсорбированные молекулы перейдут со стенок в сосуд. Слой молекул на стенках считать мономолекулярным, сечение  $\sigma$  одной молекулы равно  $10^{-15} \text{ см}^2$ . Температура  $T$ , при которой производится откачка, равна 600 К. (2,4 Па)
- Определить температуру  $T$  водорода, при которой средняя кинетическая энергия  $\langle \epsilon_{\text{п}} \rangle$  поступательного движения молекул достаточна для их расщепления на атомы, если молярная энергия диссоциации водорода  $W_{\text{м}}=419$  кДж/моль. (33,6 кК)
- При какой температуре  $T$  молекулы кислорода имеют такую же среднюю квадратичную скорость  $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ , как молекулы водорода при температуре  $T_1=100$  К? (1600 К)

## Раздел 2. Термодинамика идеального газа.

### Первое начало термодинамики. Термодинамические процессы.

#### Базовый уровень

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
1	Какое количество теплоты получено идеальным одноатомным газом, если за время уменьшения давления в 4 раза при изотермическом процессе газ совершил работу 5 кДж?	1. 3.5 кДж 2. <b>5 кДж</b> 3. 3 кДж 4. правильный ответ не приведён 5. 7.5 кДж
2	Какое выражение соответствует первому закону термодинамики для адиабатного процесса?	1. $\Delta U=A$ 2. $\Delta U=0$ 3. <b><math>\Delta U=-A</math></b> 4. $\Delta U=Q$ 5. $\Delta U=Q-A$
3	В каком процессе идеальный газ охлаждается, совершая при этом положительную работу?	1. такой процесс неосуществим 2. в изобарическом 3. в изохорическом 4. в изотермическом 5. <b>в адиабатическом</b>

4	Медной и стальной гирькам одинаковой массы передали равные количества теплоты. У какой гирьки температура изменится сильнее?	<b>медная</b>
5	Идеальный газ переводят из состояния 1 в состояние 3 так, как показано на графике зависимости давления газа от объема. Масса газа постоянна. Работа, совершенная газом, равна ... 	<b>1. <math>2p_0V_0</math></b> 2. $p_0V_0$ <b>3. <math>p_0V_0/2</math></b> 4. правильный ответ не приведен 5. $4p_0V_0$

1. Найти удельную теплоемкость  $c_p$  газовой смеси, состоящей из количества  $\nu_1 = 3$  кмоль аргона и количества  $\nu_2 = 2$  кмоль азота. (684,63 Дж/(кг К))
2. Плотность некоторого двухатомного газа при нормальных условиях  $\rho = 1,43$  кг/м<sup>3</sup>. Найти удельные теплоемкости  $c_v$  и  $c_p$  этого газа. (905,5 63 Дж/(кг К), 648,8 63 Дж/(кг К))
3. Кислород массой 320 г нагревают при постоянном давлении от 373 до 473 К. Определить количество теплоты, поглощенное газом. (29,1 кДж)
4. Кислород массой 2 кг занимает объем 1 м<sup>3</sup> и находится под давлением 0.2 МПа. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема 3 м<sup>3</sup>, а затем при постоянном объеме до давления 0.5 МПа. Найдите изменение внутренней энергии газа. (3,25 МДж)
5. В закрытом сосуде находится 20 г азота и 32 г кислорода. Найдите изменение внутренней энергии этой смеси газов при охлаждении ее на 28°C. (1 кДж)

### Средний уровень

1. Определить удельную теплоемкость  $c_v$  смеси газов, содержащей  $V_1=5$  л водорода и  $V_2=3$  л гелия. Газы находятся при одинаковых условиях. (6,4 кДж/(кг К))
2. Определить удельную теплоемкость  $c_p$  смеси кислорода и азота, если количество вещества  $\nu_1$  первого компонента равно 2 моль, а количество вещества  $\nu_2$  второго равно 4 моль. (993 Дж/(кг К))
3. Найти показатель адиабаты  $\gamma$  для смеси газов, содержащей гелий массой  $m_1=10$  г и водород массой  $m_2=4$  г. (1,51)
4. Водород массой  $m=4$  г был нагрет на  $\Delta T=10$  К при постоянном давлении. Определить работу  $A$  расширения газа. (166,2 Дж)
5. При адиабатном сжатии кислорода массой  $m=1$  кг совершена работа  $A=100$  кДж. Определить конечную температуру  $T_2$  газа, если до сжатия кислород находился при температуре  $T_1=300$  К. (454 К)

### Высокий уровень

1. Газ, занимавший объем  $V_1=12$  л под давлением  $p_1=100$  кПа, был изобарно нагрет от температуры  $T_1=300$  К до  $T_2=400$  К. Определить работу  $A$  расширения газа. (400 Дж)
2. При адиабатном сжатии газа его объем уменьшился в  $n=10$  раз, а давление

- увеличилось в  $k=21,4$  раза. Определить отношение  $C_p/C_v$  теплоемкостей газов. (1,33)
3. Азот массой  $m=2$  г, имевший температуру  $T_1=300$  К, был адиабатно сжат так, что его объем уменьшился в  $n=10$  раз. Определить конечную температуру  $T_2$  газа и работу  $A$  сжатия. (754 К, 674 Дж)
  4. Кислород, занимавший объем  $V_1=1$  л под давлением  $p_1=1,2$  МПа, адиабатно расширился до объема  $V_2=10$  л. Определить работу  $A$  расширения газа. (1,81 кДж)
  5. При изохорном нагревании кислорода объемом  $V=50$  л давление газа изменилось на  $\Delta p=0,5$  МПа. Найти количество теплоты  $Q$ , сообщенное газу. (62,5 Дж)

### Второе начало термодинамики. Энтропия.

#### Базовый уровень

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
1	КПД тепловой машины, работающей без потерь энергии, является максимальным, если её рабочий цикл включает ...	<b>1. две изотермы, две адиабаты</b> 2. две адиабаты, две изохоры 3. две изохоры, две изотермы 4. две изобары, две изохоры
2	Какова размерность энтропии?	1. Дж/кг 2. Дж/с 3. Дж/(кг·К) <b>4. Дж/К</b>
3	Температуру нагревателя и холодильника уменьшили на $\Delta T=50$ К. Как изменится КПД идеального теплового двигателя?	<b>1. увеличится</b> 2. не изменится 3. уменьшится 4. нельзя сказать, не зная исходных температур
4	Какой из предложенных ниже графиков правильно отражает цикл Карно в координатах $T, S$ ?	<b>3</b>
5	Укажите цикл, которому соответствует максимальное КПД теплового двигателя.	1. Дизеля 2. Хамфри 3. Отто 4. Брайтона/Джоуля <b>5. Карно</b>

1. Идеальная тепловая машина; работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу  $A = 73,5$  кДж. Температура нагревателя  $t_1 = 100$  °С, температура холодильника  $t_2 = 0$  °С. Найти к. п. д.  $\eta$  цикла. (26,8%)
2. Идеальная тепловая машина; работающая по циклу Карно, совершает за один цикл работу  $A = 73,5$  кДж. Температура нагревателя  $t_1 = 100$  °С, температура холодильника  $t_2 = 0$  °С. Найти количество теплоты  $Q_1$ , получаемое машиной за один цикл от нагревателя, и количество теплоты  $Q_2$ , отдаваемое за один цикл холодильнику. (0,274 МДж, 0,2 МДж)

3. Найдите изменение  $\Delta S$  энтропии при превращении  $m=10\text{г}$  льда ( $t=20^\circ\text{C}$ ) в пар ( $t_n=100^\circ\text{C}$ ). (88 Дж/К)
4. Масса  $m=10\text{ г}$  кислорода нагревается от температуры  $t_1=50^\circ\text{C}$  до температуры  $t_2=150^\circ\text{C}$ . Найти изменение  $\Delta S$  энтропии, если нагревание происходит: а) изохорически; б) изобарически. (1,75 Дж/К, 2,45 Дж/К)
5. Совершая замкнутый процесс, газ получил от нагревателя количество теплоты  $Q_1=4\text{ кДж}$ . Определить работу  $A$  газа при протекании цикла, если его термический КПД  $\eta=0,1$ . (400 Дж)

### **Средний уровень**

1. Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества  $\nu=1$  моль и находящийся под давлением  $p_1=0,1\text{ МПа}$  при температуре  $T_1=300\text{ К}$ , нагревают при постоянном объеме до давления  $p_2=0,2\text{ МПа}$ . После этого газ изотермически расширился до начального давления и затем изобарно был сжат до начального объема  $V_1$ . Построить график цикла. Определить температуру  $T$  газа для характерных точек цикла и его термический КПД  $\eta$ . (0,099)
2. Идеальный газ, совершающий цикл Карно,  $2/3$  количества теплоты  $Q_1$ , полученного от нагревателя, отдает охладителю. Температура  $T_2$  охладителя равна  $280\text{ К}$ . Определить температуру  $T_1$  нагревателя. (420 К)
3. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура  $T_1$  нагревателя в три раза выше температуры  $T_2$  охладителя. Нагреватель передал газу количество теплоты  $Q_1=42\text{ кДж}$ . Какую работу  $A$  совершил газ? (28 кДж)
4. В результате изохорного нагревания водорода массой  $m=1\text{ г}$  давление  $p$  газа увеличилось в два раза. Определить изменение  $\Delta S$  энтропии газа. (7,2 Дж/К)
5. Кусок льда массой  $m=200\text{ г}$ , взятый при температуре  $t_1=-10^\circ\text{C}$ , был нагрет до температуры  $t_2=0^\circ\text{C}$  и расплавлен, после чего образовавшаяся вода была нагрета до температуры  $t=10^\circ\text{C}$ . Определить изменение  $\Delta S$  энтропии в ходе указанных процессов. (291 Дж/К)

### **Высокий уровень**

1. Идеальный многоатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар, причем наибольшее давление газа в два раза больше наименьшего, а наибольший объем в четыре раза больше наименьшего. Определить термический КПД  $\eta$  цикла. (0,11)
2. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура  $T_2$  охладителя равна  $290\text{ К}$ . Во сколько раз увеличится КПД цикла, если температура нагревателя повысится от  $T_1'=400\text{ К}$  до  $T_1''=600\text{ К}$ ? (1,88)
3. Водород массой  $m=100\text{ г}$  был изобарно нагрет так, что объем его увеличился в  $n=3$  раза, затем водород был изохорно охлажден так, что давление его уменьшилось в  $n=3$  раза. Найти изменение  $\Delta S$  энтропии в ходе указанных процессов. (457 Дж/К)
4. Кусок меди массы  $m_1=300\text{ г}$  при температуре  $t_1=97^\circ\text{C}$  поместили в калориметр, где находится вода массы  $m_2=100\text{ г}$  при температуре  $t_2=7^\circ\text{C}$ . Найти приращение энтропии системы к моменту выравнивания температур. Теплоемкость калориметра пренебрежимо мала. (4,4 Дж/К)
5. Идеальный газ в количестве  $\nu=2,2$  моля находится в одном из двух теплоизолированных сосудов, соединенных между собой трубкой с краном. В другом сосуде — вакуум. Кран открыли, и газ заполнил оба сосуда, увеличив свой объем в  $n=3,0$  раза. Найти приращение энтропии газа. (20 Дж/К)

Раздел 3. Явления переноса.

Явления переноса.

Базовый уровень

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
1	Вязкость связана с переносом молекулами газа ...	1. энергии <b>2. импульса</b> 3. массы 4. момента импульса
2	Какова размерность коэффициента теплопроводности?	1. $\text{м}^2/\text{с}$ <b>2. Вт/(м К)</b> 3. Па с 4. это коэффициент, поэтому он размерности не имеет
3	Градиент концентрации - это ...	1. производная концентрации по времени 2. разность концентрации в двух точках 3. производная концентрации по времени в данном направлении <b>4. производная концентрации в данном направлении</b>
4	Верно ли, что шуба греет человека?	1. конечно, верно, это знает каждый, кто надевал шубу <b>2. неверно, шуба лишь сохраняет тепло человеческого тела</b> 3. греет лишь хорошая шуба из естественного меха 4. шубы из синтетики не греют
5	Укажите верное утверждение.	<b>1. вязкость газа с ростом температуры возрастает</b> 2. вязкость газа обратно пропорциональна его скорости 3. турбулентное движение обусловлено хаотическим тепловым движением молекул 4. вязкость газов с ростом давления уменьшается 5. чем больше эффективное сечение соударения молекул, тем больше вязкость газа

1. Средняя длина свободного пробега атомов гелия при нормальных условиях равна 180 нм . Определить коэффициент диффузии гелия. ( $72 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ )
2. Найти коэффициент диффузии  $D$  воздуха при давлении  $p = 101,3 \text{ кПа}$  и температуре  $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Диаметр молекул воздуха  $\sigma = 0,3 \text{ нм}$ . ( $1,46 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ )
3. Коэффициент диффузии и вязкость водорода при некоторых условиях равны  $D = 1,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$  и  $\eta = 8,5 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$ . Найти число  $n$  молекул водорода в единице объема. ( $1,8 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ )
4. Найти массу  $m$  азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку  $S = 0,01 \text{ м}^2$  за время  $t = 10 \text{ с}$ , если градиент плотности в направлении, перпендикулярном к площадке,

$\Delta\rho/\Delta x = 1,26 \text{ кг/м}^4$ . Температура азота  $t = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ . Средняя длина свободного пробега молекул азота  $\bar{\lambda} = 10 \text{ мкм}$ . (0,2 г)

5. Кислород находится при температуре  $T=300 \text{ К}$  под давлением  $p=1,00 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Определить среднюю длину свободного пробега молекул. (0,076 мкм)

### Средний уровень

1. Пусть  $\alpha dt$  — вероятность того, что молекула газа испытывает столкновение в течение времени  $dt$ ,  $\alpha$  — постоянная. Найти вероятность того, что молекула не испытает столкновения в течение времени  $t$ . ( $e^{-\alpha t}$ )
2. Пусть  $\alpha dt$  — вероятность того, что молекула газа испытывает столкновение в течение времени  $dt$ ,  $\alpha$  — постоянная. Найти среднее время между столкновениями. ( $1/\alpha$ )
3. Найти среднюю длину свободного пробега и среднее время между столкновениями молекул газообразного азота, находящегося при нормальных условиях. (0,06 мкм, 0,13 нс)

### Высокий уровень

1. Найти среднюю длину свободного пробега между столкновениями молекул газообразного азота, находящегося при температуре  $t = 0^\circ \text{ C}$  и давлении  $p = 1,0 \text{ нПа}$ . (6 Мм)
2. Два одинаковых параллельных диска, оси которых совпадают, расположены на расстоянии  $h$  друг от друга. Радиус каждого диска  $a$ , причем  $a \gg h$ . Один диск вращают с небольшой угловой скоростью  $\omega$ , другой диск неподвижен. Найти момент сил трения, действующий на неподвижный диск, если коэффициент вязкости газа между дисками равен  $\eta$ . ( $N = 1,57\eta\omega a^4/h$ )
3. Один конец стержня, заключенного в теплоизолирующую оболочку, поддерживается при температуре  $T_1$ , а другой конец — при температуре  $T_2$ . Сам стержень состоит из двух частей, длины которых  $l_1$ , и  $l_2$ , и коэффициенты теплопроводности  $\chi_1$  и  $\chi_2$ . Найти температуру поверхности соприкосновения этих частей стержня. ( $(\chi_1 T_1 l_2 + \chi_2 T_2 l_1)/(\chi_1 l_2 + \chi_2 l_1)$ )

## Раздел 3. Реальные газы и жидкости.

### Жидкости

#### Базовый уровень

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
1	В сосуд с холодной водой опущена капиллярная трубка. Как изменится уровень воды в трубке при нагревании воды?	уменьшится
2	Какова размерность коэффициента поверхностного натяжения жидкости?	1. это безразмерная величина, различная для разных жидкостей 2. Дж/м <sup>2</sup> 3. Н/м 4. это безразмерная величина, одинаковая для всех жидкостей
3	Стекланную пластинку подвесили к динамометру. После этого ею	1. для ртути 2. показания будут одинаковы

	прикоснулись к поверхности жидкости и оторвали от нее. Для какой жидкости ртути, воды или керосина – динамометр покажет в момент отрыва силу больше?	<b>3. для воды</b> 4. для керосина
4	Сито, сделанное из волокон, которые не смачиваются водой, оказывается непроницаемым для воды, хотя через него свободно проходит воздух. Какова причина указанного явления?	<b>Давление Лапласа</b>
5	В стеклянном стакане налито некоторое количество ртути. Как она расположится, если стакан с ртутью попадет в условия невесомости?	<b>шар</b>

1. Найти давление в пузырьке воздуха диаметром 4 мкм, который находится в воде на глубине 5 м. Атмосферное давление нормальное. ( $2,23 \cdot 10^5$  Па)
2. Ртутный барометр имеет диаметр трубки 3 мм. Какую поправку  $x$  в показания барометра надо внести, если учитывать капиллярное опускание ртути? Коэффициент поверхностного натяжения ртути 510 мН/м. (5,1 мм)
3. Какую силу  $F$  нужно приложить к горизонтальному алюминиевому кольцу высотой  $h = 10$  мм, внутренним диаметром  $d_1 = 50$  мм и внешним диаметром  $d_2 = 52$  мм, чтобы оторвать его от поверхности воды? (63,5 мН)
4. На сколько нагреется капля ртути, полученная, от слияния двух капель радиусом  $r = 1$  мм каждая? ( $1,65 \cdot 10^{-4}$  К)
5. Какую работу  $A$  против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы разделить сферическую каплю ртути радиусом  $R = 3$  мм на две одинаковые капли? ( $1,47 \cdot 10^{-5}$  Дж)

### **Средний уровень**

1. В дне сосуда со ртутью имеется круглое отверстие диаметра  $d = 70$  мкм. При какой максимальной толщине слоя ртути она еще не будет вытекать через это отверстие? (21 см)
2. Между двумя горизонтальными стеклянными пластинками находится капля ртути в форме лепешки радиуса  $R$  и толщины  $h$ . Считая, что  $h \ll R$ , найти массу  $m$  груза, который надо положить на верхнюю пластинку, чтобы расстояние между пластинками уменьшилось в  $n$  раз. Краевой угол  $\vartheta = 135^\circ$ . Вычислить  $m$ , если  $R = 2,0$  см,  $h = 0,38$  мм,  $n = 2,0$ . (0,73 кг)
3. Два стеклянных диска радиуса  $R = 5,0$  см смочили водой и сложили вместе так, что толщина слоя воды между дисками  $h = 1,9$  мкм. Считая смачивание полным, найти силу, которую нужно приложить перпендикулярно к плоскости дисков, чтобы оторвать их друг от друга. (0,6 кН)

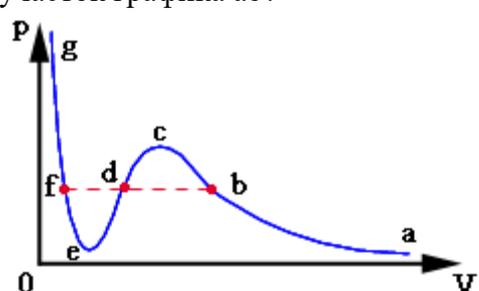
### **Высокий уровень**

1. Какую работу  $A$  против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы увеличить вдвое объем мыльного пузыря радиусом  $r = 1$  см? Поверхностное натяжение мыльного раствора  $\alpha = 0,043$  Н/м. ( $6,35 \cdot 10^{-5}$  Дж)
2. Найти давление  $p$  воздуха в воздушном пузырьке диаметром  $d = 0,01$  мм, находящемся на глубине  $h = 20$  см под поверхностью воды. Атмосферное давление  $p_0 = 101,7$  кПа. (132860 Па)

3. Давление воздуха внутри мыльного пузыря на  $\Delta p = 133,3$  Па больше атмосферного. Найти диаметр  $d$  пузыря. Поверхностное натяжение мыльного раствора  $\alpha = 0,043$  Н/м. (2,58 мм)

### Реальные газы

#### Базовый уровень

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
1	Уравнением Ван-дер-Ваальса следует пользоваться ...	<b>1. при больших давлениях газа</b> 2. при малых объёмах газа 3. при больших объёмах газа 4. при малых давлениях газа
2	Поправка "a" в уравнении Ван-дер-Ваальса обусловлена ...	1. требованием выполнения закона сохранения энергии при соударении молекул 2. реальными размерами молекул <b>3. наличием межмолекулярных сил взаимодействия</b> 4. законом сохранения импульса при соударении молекул
3	Какова размерность постоянной "b" в уравнении Ван-дер-Ваальса?	1. м/моль 2. это безразмерная величина 3. м <sup>2</sup> /моль <sup>2</sup> 4. л/моль <b>5. м<sup>3</sup>/моль</b>
4	Может ли перестать существовать разница между жидким и газообразным состоянием вещества?	<b>1. может, при повышении температуры вещества до критической и выше</b> 2. нет, не может никогда 3. может, при понижении температуры вещества до критической и ниже 4. для одних веществ может, для других – нет
5	На рисунке изображен график уравнения Ван-дер-Ваальса. Какому состоянию вещества соответствует участок графика ab? 	<b>1. газообразному</b> 2. двухфазной системе жидкость+пар 3. твёрдому 4. жидкому

- В сосуде объемом  $V = 10$  л находится масса  $m = 0,25$  кг азота при температуре  $t = 27$  °С. Какую часть давления газа составляет давление, обусловленное силами взаимодействия молекул? (4,87%)
- В сосуде объемом  $V = 10$  л находится масса  $m = 0,25$  кг азота при температуре  $t = 27$  °С. Какую часть объема сосуда составляет собственный объем молекул? (0,86%)

3. Количество  $\nu = 0,5$  кмоль некоторого газа занимает объем  $V_1 = 1 \text{ м}^3$ . При расширении газа до объема  $V_2 = 1,2 \text{ м}^3$  была совершена работа против сил взаимодействия молекул  $A = 5,684 \text{ кДж}$ . Найти постоянную  $a$ , входящую в уравнение Ван-дер-Ваальса. ( $0,1364 \text{ Па м}^6 \text{ моль}^{-2}$ )

### **Средний уровень**

1. Масса  $m = 20 \text{ кг}$  азота адиабатически расширяется в вакуум от объема  $V_1 = 1 \text{ м}^3$  до объема  $V_2 = 2 \text{ м}^3$ . Найти понижение  $\Delta T$  температуры при этом расширении, считая известной для азота постоянную  $a$ , входящую в уравнение Ван-дер-Ваальса. ( $-2,339 \text{ К}$ )
2. Какое давление  $p$  надо приложить, чтобы углекислый газ превратить в жидкую углекислоту при температурах  $t_1 = 31 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ? ( $7,38 \text{ МПа}$ )
3. Найти плотность  $\rho_k$  гелия в критическом состоянии, считая известными для гелия критические значения  $T_{ки}$   $p_k$ . ( $56,91 \text{ кг/м}^3$ )

### **Высокий уровень**

1. Количество  $\nu = 1$  кмоль кислорода занимает объем  $V = 56 \text{ л}$  при давлении  $p = 93 \text{ МПа}$ . Найти температуру  $t$  газа, пользуясь уравнением Ван-дер-Ваальса. ( $348,9 \text{ К}$ )
2. Количество  $\nu = 1$  кмоль гелия занимает объем  $V = 0,237 \text{ м}^3$  при температуре  $t = -200 \text{ }^\circ\text{C}$ . Найти давление  $p$  газа, пользуясь уравнением Ван-дер-Ваальса в приведенных величинах. ( $2,78 \text{ МПа}$ )
3. Во сколько раз давление газа больше его критического давления, если известно, что его объем и температура вдвое больше критических значений этих величин? ( $2,45$ )

## Вопросы к экзамену

1. Характеристики молекул: размеры, атомная и молекулярная масса. Количество вещества – моль. Агрегатные состояния вещества.
2. Идеальный газ, законы идеального газа. Уравнение Клайперона–Менделеева. Температурные шкалы.
3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа, его вывод. Молекулярно-кинетический смысл температуры.
4. Степени свободы молекул. Распределение энергии по степеням свободы. Энергия молекулы. Внутренняя энергия идеального газа.
5. Распределение Максвелла для молекул газа по скоростям: по компоненте скорости, по модулю скорости. Характерные скорости молекул: средняя, средняя квадратичная, наиболее вероятная. Опыт Штерна.
6. Распределение молекул в потенциальном поле: барометрическая формула.
7. Основные понятия: термодинамическая система, параметры системы, состояние системы, равновесные и неравновесные процессы, обратимые и необратимые процессы.
8. Внутренняя энергия. Теплота и работа. Функции процесса и состояния. Первое начало термодинамики.
9. Теплоемкость, уравнение Майера. Теплоемкость и число степеней свободы. Экспериментальная зависимость теплоемкости водорода от температуры.
10. Адиабатный и политропный процессы, их уравнения.
11. Работа идеального газа в различных процессах.
12. Циклические процессы. Первое начало термодинамики для циклических процессов. Тепловые машины. КПД тепловых машин.
13. Второе начало термодинамики в формулировках Томсона (Кельвина) и Клаузиуса. Холодильная машина.
14. Цикл Карно. КПД цикла Карно. Теоремы Карно.
15. Неравенство Клаузиуса. Энтропия как функция состояния. Формулировка второго начала термодинамики с использованием понятия энтропия. Вычисление энтропии.
16. Термодинамические функции.
17. Связь энтропии с вероятностью. Термодинамическая вероятность состояния. Формула Больцмана. Статистический смысл второго начала термодинамики.
18. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Критические параметры. Закон соответствия состояний.
19. Изотермы реальных газов, их сравнение с изотермами газа Ван-дер-Ваальса. Критические состояния.
20. Фазовые переходы 1-го рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Фазовые диаграммы.
21. Межмолекулярные силы взаимодействия. Потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия.
22. Явления переноса в газах Экспериментальные законы (законы Фика, Ньютона, Фурье).
23. Столкновения молекул, число столкновений в единицу времени. Средняя длина свободного пробега.
24. Получение уравнений переноса кинетическим методом. Выражения для коэффициентов диффузии, внутреннего трения, теплопроводности, связь между ними. Явления переноса в ультраразреженных газах.
25. Явление поверхностного натяжения. Условия равновесия на границе двух жидкостей, на границе жидкость – твердое тело. Краевой угол.
26. Дополнительное давление в жидкости под искривленной поверхностью. Формула Лапласа. Капиллярные явления.
27. Испарение и кипение жидкостей. Давление насыщенных паров. Перегретая жидкость, переохлажденный пар.

### Пример варианта экзаменационных вопросов

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
1	В баллоне находится 5 молей вещества. Количество молекул в баллоне примерно равно ...	1. $4 \cdot 10^{25}$ 2. $6 \cdot 10^{23}$ 3. $5 \cdot 10^{22}$ <b>4. <math>3 \cdot 10^{24}</math></b>
2	В некотором процессе температура газа уменьшается, а его объем увеличивается. Как изменится давление при постоянной массе газа?	<b>уменьшится</b>
3	Внутренняя энергия газа складывается из $E_k$ – суммарной кинетической энергии молекул и $E_p$ – потенциальной энергии их взаимодействия. При каком соотношении между $E_k$ и $E_p$ состояние газа может быть описано уравнением Менделеева-Клайперона?	1. $E_k$ и $E_p > 0$ 2. $E_k \gg E_p$ 3. $E_k \ll E_p$ 4. $E_k$ и $E_p$ не должны быть связаны никаким соотношением 5. $E_k = E_p$
4	Порядок диаметра простых молекул ...	1. $10^{-6}$ м <b>2. <math>10^{-10}</math> м</b> 3. $10^{-14}$ м 4. $10^{-2}$ м 5. правильный ответ не приведен
5	К некоторой массе идеального газа подведено одинаковое количество теплоты - один раз при постоянном давлении, а другой - при постоянном объеме. При каком процессе (1 или 2) повышение температуры будет больше?	<b>2</b>
6	При изохорном процессе внутренняя энергия одноатомного идеального газа при увеличении давления ...	<b>1. увеличивается</b> 2. изменяется в зависимости от исходного объёма 3. уменьшается 4. не изменяется
7	Адиабатический процесс - это процесс, при котором ...	1. внутренняя энергия системы не изменяется <b>2. не происходит теплообмена между системой и окружающей средой</b> 3. система не совершает работу против внешних сил 4. над системой не совершают работу внешние силы 5. температура системы не изменяется
8	Выберите правильные утверждения, относящиеся к понятию "энтропия":	1. энтропия - это функция процесса <b>2. в изолированной системе энтропия не может убывать</b> 3. в изолированной системе энтропия не может возрастать 4. в изолированной системе энтропия не изменяется <b>5. энтропия - это функция состояния</b>

9	КПД тепловой машины, работающей без потерь энергии, является максимальным, если её рабочий цикл включает ...	1. две изохоры, две изотермы 2. две адиабаты, две изохоры <b>3. две изотермы, две адиабаты</b> 4. две изобары, две изохоры
10	Температуру нагревателя и холодильника теплового двигателя понизили на одинаковое количество градусов. Как изменился при этом КПД двигателя?	1. уменьшился 2. не изменился 3. ответ не однозначен <b>4. увеличился</b>
11	Зависит ли от плотности газа коэффициент вязкости?	<b>нет</b>
12	Коэффициент внутреннего трения - это физическая величина, численно равная...	1. импульсу, переносимому в единицу времени, через единицу площади в направлении, перпендикулярном скорости 2. среди ответов нет правильного 3. силе внутреннего трения, действующей между слоями жидкости на единицу площади их соприкосновения при изменении скорости за единицу времени <b>4. силе внутреннего трения, действующей между слоями жидкости с площадью их соприкосновения, равной единице, при градиенте скорости, равном единице</b>
13	Искривление поверхности жидкости создает дополнительное (лапласово) давление. Вследствие этого давление воздуха в мыльном пузыре несколько больше атмосферного. Повышенное давление существует и в капле. Имеются одного диаметра капля и мыльный пузырь из одной и той же жидкости. Где давление меньше - внутри пузыря или внутри капли?	<b>капля</b>
14	Какова размерность коэффициента поверхностного натяжения жидкости?	1. это безразмерная величина, одинаковая для всех жидкостей 2. это безразмерная величина, различная для разных жидкостей <b>3. Дж/м<sup>2</sup></b> <b>4. Н/м</b>
15	Найдите массу воздуха, заполняющего аудиторию высотой 3.1 и площадью пола 89 м <sup>2</sup> . Давление воздуха 100 кПа, температура помещения 10°C. Молярная масса воздуха равна 0.029 кг/моль.	<b>m=340 кг</b>
16	Какова средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа, если известно, что плотность его 26 г/м <sup>3</sup> , а давление, оказываемое им на стенки сосуда, 3.7 кПа?	<b>V<sub>кв</sub>=653 м/с</b>

17	Плотность некоторого газа при нормальных условиях равна $1.2 \text{ кг/м}^3$ . Отношение удельных теплоемкостей 1.4. Определите удельную теплоемкость газа при постоянном объеме.	$C_v=773 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$
18	Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, получает за каждый цикл от нагревателя $3.9 \text{ кДж}$ тепла. Температура нагревателя $408 \text{ К}$ , температура холодильника $308 \text{ К}$ . Найдите количество теплоты, отдаваемое холодильнику за один цикл.	$Q_2=2.94 \text{ кДж}$
19	В сосуде объемом $4.5 \text{ л}$ находится $3 \cdot 10^{22}$ молекул двухатомного газа. Коэффициент теплопроводности газа равен $0.02 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Найдите коэффициент диффузии газа при этих условиях.	$D=8.7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$
20	Найдите добавочное давление внутри мыльного пузыря диаметром $13 \text{ см}$ , если коэффициент поверхностного натяжения мыльной воды равен $40 \text{ мН/м}$ .	$P_{\text{д}}=2.46 \text{ Па}$

**Типовые контрольные вопросы для промежуточной аттестации**

1. Характеристики молекул: размеры, атомная и молекулярная масса. Количество вещества – моль. Агрегатные состояния вещества.
2. Идеальный газ, законы идеального газа. Уравнение Клайперона–Менделеева. Температурные шкалы.
3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа, его вывод. Молекулярно-кинетический смысл температуры.
4. Степени свободы молекул. Распределение энергии по степеням свободы. Энергия молекулы. Внутренняя энергия идеального газа.
5. Распределение Максвелла для молекул газа по скоростям: по компоненте скорости, по модулю скорости. Характерные скорости молекул: средняя, средняя квадратичная, наиболее вероятная. Опыт Штерна.
6. Распределение молекул в потенциальном поле: барометрическая формула.
7. Основные понятия: термодинамическая система, параметры системы, состояние системы, равновесные и неравновесные процессы, обратимые и необратимые процессы.
8. Внутренняя энергия. Теплота и работа. Функции процесса и состояния. Первое начало термодинамики.
9. Теплоемкость, уравнение Майера. Теплоемкость и число степеней свободы. Экспериментальная зависимость теплоемкости водорода от температуры.
10. Адиабатный и политропный процессы, их уравнения.
11. Работа идеального газа в различных процессах.
12. Циклические процессы. Первое начало термодинамики для циклических процессов. Тепловые машины. КПД тепловых машин.
13. Второе начало термодинамики в формулировках Томсона (Кельвина) и Клаузиуса. Холодильная машина.
14. Цикл Карно. КПД цикла Карно. Теоремы Карно.
15. Неравенство Клаузиуса. Энтропия как функция состояния. Формулировка второго начала термодинамики с использованием понятия энтропия. Вычисление энтропии.
16. Термодинамические функции.
17. Связь энтропии с вероятностью. Термодинамическая вероятность состояния. Формула Больцмана. Статистический смысл второго начала термодинамики.
18. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Критические параметры. Закон соответствия состояний.
19. Изотермы реальных газов, их сравнение с изотермами газа Ван-дер-Ваальса. Критические состояния.
20. Фазовые переходы 1-го рода. Уравнение Клайперона-Клаузиуса. Фазовые диаграммы.
21. Межмолекулярные силы взаимодействия. Потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия.
22. Явления переноса в газах Экспериментальные законы (законы Фика, Ньютона, Фурье).
23. Столкновения молекул, число столкновений в единицу времени. Средняя длина свободного пробега.
24. Получение уравнений переноса кинетическим методом. Выражения для коэффициентов диффузии, внутреннего трения, теплопроводности, связь между ними. Явления переноса в ультраразряженных газах.
25. Явление поверхностного натяжения. Условия равновесия на границе двух жидкостей, на границе жидкость – твердое тело. Краевой угол.
26. Дополнительное давление в жидкости под искривленной поверхностью. Формула Лапласа. Капиллярные явления.
27. Испарение и кипение жидкостей. Давление насыщенных паров. Перегретая жидкость, переохлажденный пар.

### Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
1	В баллоне находится 5 молей вещества. Количество молекул в баллоне примерно равно ...	1. $4 \cdot 10^{25}$ 2. $6 \cdot 10^{23}$ 3. $5 \cdot 10^{22}$ 4. <b><math>3 \cdot 10^{24}</math></b>
2	В некотором процессе температура газа уменьшается, а его объем увеличивается. Как изменится давление при постоянной массе газа?	<b>уменьшится</b>
3	Внутренняя энергия газа складывается из $E_k$ – суммарной кинетической энергии молекул и $E_p$ – потенциальной энергии их взаимодействия. При каком соотношении между $E_k$ и $E_p$ состояние газа может быть описано уравнением Менделеева-Клапейрона?	1. $E_k$ и $E_p > 0$ 2. $E_k \gg E_p$ 3. $E_k \ll E_p$ 4. $E_k$ и $E_p$ не должны быть связаны никаким соотношением 5. $E_k = E_p$
4	Порядок диаметра простых молекул ...	1. $10^{-6}$ м 2. <b><math>10^{-10}</math> м</b> 3. $10^{-14}$ м 4. $10^{-2}$ м 5. правильный ответ не приведен
5	К некоторой массе идеального газа подведено одинаковое количество теплоты - один раз при постоянном давлении, а другой - при постоянном объеме. При каком процессе (1 или 2) повышение температуры будет больше?	<b>2</b>
6	При изохорном процессе внутренняя энергия одноатомного идеального газа при увеличении давления ...	<b>1. увеличивается</b> 2. изменяется в зависимости от исходного объёма 3. уменьшается 4. не изменяется
7	Адиабатический процесс - это процесс, при котором ...	1. внутренняя энергия системы не изменяется 2. <b>не происходит теплообмена между системой и окружающей средой</b> 3. система не совершает работу против внешних сил 4. над системой не совершают работу внешние силы 5. температура системы не изменяется
8	Выберите правильные утверждения, относящиеся к понятию "энтропия":	1. энтропия - это функция процесса 2. <b>в изолированной системе энтропия не может убывать</b> 3. в изолированной системе энтропия не может возрасть 4. в изолированной системе энтропия не изменяется 5. <b>энтропия - это функция состояния</b>

9	КПД тепловой машины, работающей без потерь энергии, является максимальным, если её рабочий цикл включает ...	1. две изохоры, две изотермы 2. две адиабаты, две изохоры <b>3. две изотермы, две адиабаты</b> 4. две изобары, две изохоры
10	Температуру нагревателя и холодильника теплового двигателя понизили на одинаковое количество градусов. Как изменился при этом КПД двигателя?	1. уменьшился 2. не изменился 3. ответ не однозначен <b>4. увеличился</b>
11	Зависит ли от плотности газа коэффициент вязкости?	<b>нет</b>
12	Коэффициент внутреннего трения - это физическая величина, численно равная ...	1. импульсу, переносимому в единицу времени, через единицу площади в направлении, перпендикулярном скорости 2. среди ответов нет правильного 3. силе внутреннего трения, действующей между слоями жидкости на единицу площади их соприкосновения при изменении скорости за единицу времени <b>4. силе внутреннего трения, действующей между слоями жидкости с площадью их соприкосновения, равной единице, при градиенте скорости, равном единице</b>
13	Искривление поверхности жидкости создает дополнительное (лапласово) давление. Вследствие этого давление воздуха в мыльном пузыре несколько больше атмосферного. Повышенное давление существует и в капле. Имеются одного диаметра капля и мыльный пузырь из одной и той же жидкости. Где давление меньше - внутри пузыря или внутри капли?	<b>капля</b>
14	Какова размерность коэффициента поверхностного натяжения жидкости?	1. это безразмерная величина, одинаковая для всех жидкостей 2. это безразмерная величина, различная для разных жидкостей <b>3. Дж/м<sup>2</sup></b> <b>4. Н/м</b>
15	Найдите массу воздуха, заполняющего аудиторию высотой 3.1 и площадью пола 89 м <sup>2</sup> . Давление воздуха 100 кПа, температура помещения 10°C. Молярная масса воздуха равна 0.029 кг/моль.	<b>m=340 кг</b>
16	Какова средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа, если известно, что плотность его 26 г/м <sup>3</sup> , а давление, оказываемое им на стенки сосуда, 3.7 кПа?	<b>V<sub>кв</sub>=653 м/с</b>

17	Плотность некоторого газа при нормальных условиях равна $1.2 \text{ кг/м}^3$ . Отношение удельных теплоемкостей 1.4. Определите удельную теплоемкость газа при постоянном объеме.	<b><math>C_v=773 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}</math></b>
18	Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, получает за каждый цикл от нагревателя $3.9 \text{ кДж}$ тепла. Температура нагревателя $408 \text{ К}$ , температура холодильника $308 \text{ К}$ . Найдите количество теплоты, отдаваемое холодильнику за один цикл.	<b><math>Q_2=2.94 \text{ кДж}</math></b>
19	В сосуде объемом $4.5 \text{ л}$ находится $3 \cdot 10^{22}$ молекул двухатомного газа. Коэффициент теплопроводности газа равен $0.02 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Найдите коэффициент диффузии газа при этих условиях.	<b><math>D=8.7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}</math></b>
20	Найдите добавочное давление внутри мыльного пузыря диаметром $13 \text{ см}$ , если коэффициент поверхностного натяжения мыльной воды равен $40 \text{ мН/м}$ .	<b><math>P_{\text{л}}=2.46 \text{ Па}</math></b>



**Рабочая программа дисциплины (модуля) одобрена и рекомендована:**

Проректор по учебной работе утверждено 27.02.26 А.А. Саламатов

Ученым советом физического факультета

Протокол заседания № 04 от 05.02.2026

Председатель Ученого совета  
физического факультета согласовано М.А. Загребин

**Заседанием кафедры общей и теоретической физики**

Протокол заседания № 06 от 05.02.2026

Заведующий кафедрой согласовано А. Е. Майер

Автор (составитель) О. В. Еретнова

**Структура рабочей программы соответствует приказу ректора ФГБОУ ВО «ЧелГУ» от «13»  
апреля 2021 г. № 274-1**