

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

УТВЕРЖДАЮ



Заведующий кафедрой  
общей физики  
/ Турищев С.Ю. /  
23.06.2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.О.19 Молекулярная физика

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 03.03.02 Физика
2. Профиль подготовки/специализация: Физика твердого тела; Физика лазерных и спектральных технологий
3. Квалификация выпускника: бакалавр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: 0801 кафедра общей физики  
Составители программы:  
Меремьянин Алексей Васильевич, доктор физико-математических наук
7. Рекомендована: Научно-методическим советом физического факультета, протокол № 6 от 23.06.2022 г.
8. Учебный год: 2022/2023 Семестр(ы)/Триместр(ы): 2

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- сформировать у студентов научную картину мира и дать им основные понятия о научном методе познания;
- привить представления о молекулярной физике – разделе общей физики, изучающей физические явления и законы, обусловленные атомарно-корпускулярным строением вещества на основе простейших абстрактных моделей с использованием математического аппарата;
- изложить студентам классическую теорию молекулярной физики и термодинамики.

Задачи дисциплины:

- обучить студентов основным понятиям, законам и методам молекулярной физики в объёме, достаточном для изучения физических дисциплин на современном научном уровне;
- развить навыки физического мышления;
- сформировать у студентов навыки решения типовых задач молекулярной физики и термодинамики;
- научить студентов эффективно использовать основные представления молекулярной физики при изучении других физических дисциплин.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Молекулярная физика» относится к дисциплинам базовой части цикла Б1 основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 03.03.02 «Физика». Для освоения дисциплины «Молекулярная физика» необходимы знания, умения и компетенции, полученные в ходе изучения следующих дисциплин: «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра» основной профессиональной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 03.03.02 «Физика».

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных и профессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций А/01.5 «Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований» и А/02.5 «Осуществление выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок» профессионального стандарта 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам».

Данная дисциплина является предшествующей для общепрофессиональных и профессиональных дисциплин, таких как «Теоретическая механика и механика сплошных сред», «Астрофизика», «Физика конденсированного состояния», «Молекулярная спектроскопия», «Кристаллофизика и кристаллография», «Оптическая спектроскопия твёрдого тела». Знания, полученные при освоении дисциплины «Молекулярная физика», необходимы при прохождении производственных практик и выполнении бакалаврской выпускной квалификационной работы по физике.

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;	ОПК-1.4	Решает типовые задачи с учётом основных понятий и общих закономерностей, сформулированных в рамках базовых дисциплин естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке)	Студент должен: знать методы решения типовых физических задач анализа термодинамических систем; уметь выбирать оптимальные способы решения задач термодинамики и молекулярной физики, оценивать адекватность найденного решения; владеть методами построения физической модели исследуемого явления.
		ОПК-1.5	Умеет использовать знания основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Студент должен: знать основные положения термодинамики: понятие о температуре и температурных шкалах, понятие о термодинамическом равновесии и процессах равновесной термодинамики, первое и второе начала термодинамики, понятие об энтропии; элементарную кинетическую теорию идеального газа и явлений переноса, распределения Максвелла и Больцмана, свойства жидкостей и растворов, понятие о фазовых переходах; уметь: применять законы термодинамики и молекулярно-кинетической теории для анализа явлений природы и технических процессов, создавать элементарные модели макросистем (газов, жидкостей и твёрдых тел) и проводить соответствующие оценочные расчёты; владеть: методами построения простых математических моделей макросистем, методами качественного анализа тепловых явлений
		ОПК-1.6	Владеет навыками использования знаний о методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук при решении практических задач, структурирования естественно-научной информации	Студент должен: знать: основные принципы современных методов исследования макросистем как классических многочастичных систем, их достоинства, недостатки и ограничения; уметь: осуществлять поиск научной информации, оценивать её достоверность; владеть: технологиями поиска научной информации
ОПК-2	Способен проводить научные исследования физических объектов,	ОПК-2.1	Выбирает и использует соответствующие ресурсы, современные методики и	Студент должен: знать методы измерений термодинамических величин, таких как температура, давление, теплоёмкость; методы исследования поверхностного натяжения жидкости;

	систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;		оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений	уметь: проводить измерения указанных величин с помощью лабораторного оборудования; владеть: навыками проведения физического эксперимента, навыками работы с современным лабораторным оборудованием
		ОПК-2.2	Обрабатывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов	Студент должен: знать элементарную теорию измерений; уметь выявлять источники погрешностей измерений, выбирать оптимальные способы измерений; владеть методами оценки величин погрешностей измерений, методами наглядного представления результатов измерений

**12. Объем дисциплины в зачётных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) – 6/216**

**Форма промежуточной аттестации зачёт/экзамен**

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		1-й семестр	2-ой семестр	
Аудиторные занятия	150		150	
в том числе:	лекции	48		48
	практические	34		34
	лабораторные	68		68
Самостоятельная работа	30		30	
в том числе: курсовая работа (проект)	–		–	
Форма промежуточной аттестации (экзамен – __ час.)	36		36	
Итого:	216		216	

#### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Основы термодинамики	1. Предмет и задачи курса молекулярной физики. Аксиомы термодинамики. 2. Термодинамические процессы, работа. Первое начало термодинамики. 3. Теплоёмкость. Политропические процессы. Течение газа, скорость звука в газе. 4. Второе начало термодинамики. Теорема Карно, термодинамическая шкала температур. Энтропия и неравенство Клаузиуса. 5. Метод циклов. Термодинамические потенциалы, соотношения Максвелла.	<a href="#">Курс общей физики - Молекулярная физика (edu.vsu.ru)</a>

1.2	Основы статистической механики	6. Статистическое описание систем многих частиц. Основные понятия теории вероятностей. 7. Кинетическая теория идеального газа. Классическая теория теплоёмкости. 8. Распределения Максвелла по скоростям. 9. Распределение Больцмана. Барометрическая формула, атмосферы планет. 10. Статистический смысл второго начала термодинамики и энтропия. Формула Больцмана для энтропии. Коллоквиум 1.	
1.3	Явления переноса	11. Столкновения молекул, длина свободного пробега. 12. Явления переноса: диффузия, вязкость, теплопроводность. 13. Ультразреженные газы и вакуум.	
1.4	Состояния вещества	14. Реальные газы. Модель газа Ван дер Ваальса. 15. Изотермы газа Ван дер Ваальса, правила Максвелла. 16. Жидкости, поверхностные явления. 17. Капиллярные явления, формула Лапласа. 18. Жидкие кристаллы. Твёрдые тела.	
1.5	Фазовые превращения	19. Фазы вещества. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Диаграммы состояния. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. 20. Насыщенный пар. Кипение, тройные точки. 21. Метастабильные состояния. Условие равновесия фаз.	
1.6	Растворы, смеси	22. Растворы, классификация растворов. 23. Осмос. Коллоидные системы. 24. Диаграммы состояния бинарных смесей.	
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Термодинамика	1. Процессы с идеальным газом. 2. Уравнение состояния идеального газа. Закон Дальтона. 3. Теплоёмкость. 4. Круговые процессы. 5. Энтропия	<a href="#">Курс общей физики - Молекулярная физика</a>
2.2	Молекулярно-кинетическая теория	6. Кинетическая модель идеального газа. 7. Распределения Максвелла. 8. Распределение Больцмана, барометрическая формула.	
2.3	Явления переноса	9. Столкновения молекул в газе. 10. Вязкость. 11. Теплопроводность.	
2.4	Состояния вещества	12. Процессы с газом Ван дер Ваальса 13. Внутренняя энергия и энтропия газа Ван дер Ваальса 14. Поверхностное натяжение	
2.5	Фазовые превращения	15. Процессы с насыщенным паром 16. Теплоты плавления, парообразования	
2.6	Растворы	17. Осмос, осмотическое давление.	
<b>3. Лабораторные занятия</b>			
3.1.	Вводное занятие.	Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ по молекулярной физике	<a href="#">Курс общей физики - Молекулярная физика</a>
3.2	Лабораторная работа 1	Изучение закона нормального распределения	
3.3.	Лабораторная работа 2	Броуновское движение в жидкости	
3.4	Лабораторная работа 3	Определение средней длины пробега молекул воздуха	
3.5	Лабораторная работа 4	Изучение зависимости коэффициента вязкости от	

		температуры на вискозиметре Оствальда	
3.6	Лабораторная работа 5	Определение коэффициента внутреннего трения методом Стокса	
3.7	Лабораторная работа 6	Определение коэффициента внутреннего трения ротационного вискозиметра	
3.8	Лабораторная работа 7	Определение отношений теплоёмкостей газов методом Клемана и Дезорма	
3.9	Лабораторная работа 8	Определение коэффициента поверхностного натяжения методом компенсации разности давлений	
3.10	Лабораторная работа 9	Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкостей по методу отрыва кольца	
3.11	Лабораторная работа 10	Изучение зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры методом Кантора-Рейндера	
3.12	Лабораторная работа 11	Определение коэффициента объёмного расширения жидкостей	

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Основы термодинамики	10	10	10	5	35
2	Основы статистической механики	10	6	10	5	31
3	Явления переноса	6	6	16	4	32
4	Состояния вещества	10	6	16	4	36
5	Фазовые превращения	6	4	0	4	14
6	Растворы, смеси	6	2	0	4	12
7	Колебания и звук	0	0	16	4	20
	Итого:	48	34	68	30	180

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Работа с конспектами лекций, чтение литературы по предмету; решение задач по курсу; выполнение и оформление лабораторных работ в течение семестра; постепенное освоение математических пакетов (например, *Maxima* и др.).

Самостоятельная работа студентов в течение семестра включает следующие формы работы и виды контроля:

- подготовка к практическим занятиям;

при подготовке к практическим занятиям необходимо проработать теоретические вопросы занятия с использованием материала лекций и рекомендуемой литературы, подробно разобрать примеры решения задач, разобранных на лекциях, выполнить домашние задания по данной теме;

- подготовка к коллоквиуму по лекционному курсу;

при подготовке к коллоквиуму по лекционному курсу необходимо проработать теоретические вопросы данного модуля с использованием материала лекций и рекомендуемой литературы, подробно разобрать примеры, разобранные на лекциях, выполнить домашние задания по данному модулю;

Показателем успешной текущей работы студента является еженедельное выполнение заданий на практических занятиях. Методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по курсу включает:

- конспект лекций;
- основную литературу;
- дополнительную литературу;
- учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы.

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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Сивухин, Дмитрий Васильевич. Общий курс физики : учебное пособие для студ. физ. специальностей вузов : в 5 т. / Д.В.Сивухин .— М. : Физматлит. Т. 2: Термодинамика и молекулярная физика .— Изд. 5-е, испр. — 2014 .— 543 с. : ил. — Имен. указ., предм. указ. : с.529-537 .— ISBN 5-9221-0601-5.
2	<i>Паршаков, Александр Николаевич. Физика в ключевых задачах. Тепловые явления и молекулярная физика : [учебное пособие] / А.Н. Паршаков .— Долгопрудный : Издательский Дом "Интеллект", 2018 .— 223, [1] с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-91559-243-7.</i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Иродов, Игорь Евгеньевич. Физика макросистем. Основные законы : [учебное пособие для вузов] / И. Е. Иродов .— 3-е изд., стер. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006 .— 207 с.
4	Савельев, Игорь Владимирович. Курс общей физики : учебное пособие для студ. вузов, обуч. по техн. (550000) и технол. (650000) направлениям : в 3 т. / И.В. Савельев .— Изд. 4-е, стер. — СПб. : Лань, 2005- .— ISBN 5-8114-0629-0. <i>Т.1: Механика. Молекулярная физика .— 2005 .— 432 с. : ил .— (Классическая учебная литература по физике / редсов.: Ж.И. Алферов (пред.) [и др.]) (Учебники для вузов. Специальная литература) .— Парал. тит. л. англ. — Предм. указ.: 429-432 .— ISBN 5-8114-0630-4.</i>
5	Фейнман, Р. Фейнмановские лекции по физике : В 9 вып. : Пер. с англ. / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс ; Под ред. Я.А. Смородинского .— М. : Эдиториал УРСС, 2004- .— ISBN 5-354-00698-8. <i>[Вып. 4]: Кинетика. Теплота. Звук / Пер. с англ. А.В. Ефремова и [др.] .— 4-е изд., исправленное .— 2004 .— 259, [1] с. : ил. — (Полный курс общей физики) .— ISBN 5-354-00702-X</i>
6	Кикоин, Абрам Константинович. Молекулярная физика : [учебное пособие для студ. вузов, обучающихся по физ., техн. и пед. направлениям и специальностям] / А.К. Кикоин, И.К. Кикоин .— Изд. 4-е, стер. — СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2008 .— 480 с. : ил .— (Классическая учебная литература по физике / редсов.: Ж.И. Алферов (пред.) [и др.]) (Учебники для вузов. Специальная литература) .— Парал. тит. л. англ. — Предм. указ.: с.479-480 .— ISBN 978-5-8114-0737-8.
7	Матвеев, Алексей Николаевич. Молекулярная физика : учебное пособие / А.Н. Матвеев .— Изд. 4-е, стер. — СПб. [и др.] : Лань, 2010 .— 364 с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература) (Классическая учебная литература по физике / ред. совет : Ж.И.Алферов (пред.) [и др.]) (Лучшие классические учебники) .— Парал. тит. л. англ. — Предм. указ.: с.358-360 .— ISBN 978-5-8114-1007-1.

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

№ п/п	Ресурс
1	Электронная библиотека ВГУ <a href="https://lib.vsu.ru">https://lib.vsu.ru</a>
2	Электронный университет ВГУ <a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a>

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)**

№ п/п	Источник
1	Иродов, Игорь Евгеньевич. Задачи по общей физике : учебное пособие для вузов / И. Е. Иродов .— 6-е изд., стер. — М. : БИНОМ.Лаборатория знаний, 2006 .— 431 с
2	Крыловецкий, Александр Абрамович. Задачи по физике : учебное пособие для вузов / А.А. Крыловецкий ; Воронеж. гос. ун-т .— Воронеж : ЛОП ВГУ, 2006-. Ч. 3: Молекулярная физика и термодинамика .— 2006 .— 39 с.
3	Миронова, Галина Александровна. Молекулярная физика и термодинамика в вопросах и задачах : [учебное пособие для студ. вузов, обуч. по специальности ВПО 010701 - "Физика" и по направлению подгот. ВПО 010700 - "Физика"] / Г.А. Миронова, Н.Н. Брандт, А.М. Салецкий .— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2012 .— 474 с.
4	Булкин, Петр Сергеевич. Общий физический практикум. Молекулярная физика : Учебное пособие / П.С. Булкин, И.И. Попова .— М. : Изд-во Моск. ун-та, 1988 .— 215 с.
5	Механика и молекулярная физика : Лабораторный практикум / А.М. Аввакумов, А.В. Бурашников, А.С. Макаров и др. ; Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова .— Чебоксары, 1982 .— 90 с.
6	Белоголовцев, Г.И. Лабораторный практикум по курсу "Физика". Раздел "Оптика и молекулярная физика" / Г.И. Белоголовцев, В.И. Куштан ; Обнин. ин-т атом. энергетики. Физ.-энергет. фак. — Обнинск, 1992 .— 56 с.

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

Для реализации учебной дисциплины используются следующие информационные технологии: элементы программирования (для обработки результатов экспериментов в лабораторных работах), работа с электронными ресурсами на порталах [www.edu.vsu.ru](http://www.edu.vsu.ru) (лекции на образовательных платформах, выкладывание электронных вариантов задачников, учебных пособий на личных страницах преподавателей в образовательном портале), [www.lib.vsu.ru](http://www.lib.vsu.ru) (работа с электронной базой данных библиотеки ВГУ); использование в подготовке материалов лекций и в работе со студентами различных программных математических продуктов, таких как Maxima и др.

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Лекционная аудитория, доска меловая или маркерная 1 шт., столы, стулья в необходимом количестве.

Лабораторные работы по молекулярной физике проводятся в лаборатории кафедры общей физики №145 (г. Воронеж, Университетская площадь, д.1). Лабораторные проводятся в группе по подгруппам до 15 человек. Лаборатория оснащена необходимым количеством рабочих мест (28 столов, из них стол для преподавателя, стол для лаборанта, 4 стола без оборудования, 22 стола с оборудованием для выполнения лабораторных работ по курсам «Молекулярная физика», 45 стульев), компьютером для обработки результатов вычислений, комплектами для выполнения лабораторных работ:

- установка для определения длины свободного пробега молекул воздуха (2 шт.);
- вискозиметр Оствальда;
- установка для определения коэффициента внутреннего трения методом Стокса;
- ротационный вискозиметр;
- установка для определения поверхностного натяжения воды;
- установка для определения зависимости поверхностного натяжения воды от температуры (2 шт.);
- установка для определения коэффициент объёмного расширения жидкостей;
- установка для определения скорости звука интерференционным методом;
- ТКО для лаб. «Молекул.физ. и термодинам.»: ФПТ1-1, ФПТ1-3, ФПТ1-6, ФПТ1-8, ФПТ1-10, ФПТ1-11;



- Компьютер HP ProDesk 400 G5 DM с монитором ЖК 22" BenQ BL2283 и колонками (1 шт.).

Аудитория для самостоятельной работы студентов кафедры общей физики №134 (г. Воронеж, Университетская площадь, д.1). Компьютеры DELL – 4 шт., Подключение к сети Интернет и с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ; Microsoft Windows 7, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019.

### 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	Основы термодинамики	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ОПК-1.6, ОПК-2.1, ОПК-2.2	Практические занятия 1-5..Отчёт по лабораторной работе 7,11
2	Основы статистической механики	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ОПК-1.6, ОПК-2.1, ОПК-2.2	Практические занятия 6-8. Контрольная работа 1. Коллоквиум 1.Отчёт по лабораторной работе 1-5.
3	Явления переноса	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ОПК-1.6, ОПК-2.1, ОПК-2.2	Практические занятия 9-11. Вопросы к зачёту по лабораторному практикуму. Отчёт по лабораторной работе 1-5.
4	Состояния вещества	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ОПК-1.6, ОПК-2.1, ОПК-2.2	Практические занятия 12-14.Отчёт по лабораторной работе 8-11.
5	Фазовые превращения	ОПК-1	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ОПК-1.6	Практические занятия 15-16.
6	Растворы, смеси	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.4, ОПК-1.5, ОПК-1.6	Практическое занятие 17. Контрольная работа 2.
Текущая аттестация форма контроля — зачёт				Перечень вопросов
Промежуточная форма контроля — экзамен				Комплект КИМ

## 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:

#### Контрольные работы:

##### Контрольная работа № 1.

###### **Вариант 1.**

Задание 1. Азот первоначально занимал объём 1 л при давлении 100 кПа. Затем его адиабатически сжали и изохорно охладили до начальной температуры, а его давление стало 200 кПа. Определите работу, совершённую над газом, и отданное газом количество теплоты.

Задание 2. Вычислить К.П.Д. цикла, состоящего из изобарного, адиабатного и изотермического процессов, если в результате изобарного процесса газ нагревается от  $T_1 = 300$  К до  $T_2 = 600$  К.

Задание 3. Найти изменение энтропии при следующих процессах: а) при нагревании 100 г воды от  $0^\circ\text{C}$  до  $100^\circ\text{C}$  и последующем превращении воды в пар той же температуры; б) при изотермическом расширении 10 г кислорода от объёма 25 л до объёма 100 л.

Задание 4. Плотность смеси азота и водорода при температуре  $t = 470^\circ\text{C}$  и давлении  $P = 2 \cdot 10^5$  Па равна 0,3 г/л. Найти концентрации молекул азота ( $n_1$ ) и водорода ( $n_2$ ) в смеси.

###### **Вариант 2.**

Задание 1. Гелий массой 16 г, находящийся при температуре 300 К, сначала изотермически расширяется, в результате чего его давление понижается в три раза. Затем газ адиабатически сжимается до первоначального давления. Определите работу, совершённую газом, и полученное газом количество теплоты.

Задание 2. Идеальный двухатомный газ в количестве  $\nu = 0,001$  кмоль совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар. Наименьший объём газа 10 л, наибольший – 20 л, наименьшее давление  $2,46 \cdot 10^5$  Па, наибольшее –  $4,1 \cdot 10^5$  Па. Начертить график цикла. Определить температуры газа для характерных точек цикла и его КПД. Задание 3. Найти изменение энтропии при следующих процессах: а) при превращении 1 кг воды при  $0^\circ\text{C}$  в пар при  $100^\circ\text{C}$ ; б) при превращении 30 г льда в пар при  $100^\circ\text{C}$ , если начальная температура льда  $-40^\circ\text{C}$ .

Задание 4. В баллоне ёмкостью 2 дм<sup>3</sup> содержится смесь азота  $\text{N}_2$  и окиси азота  $\text{NO}$ . Определить массу окиси азота, если масса смеси равна 14 г, температура 300 К и давление  $0,6 \cdot 10^6$  Па.

##### Контрольная работа № 2

###### **Вариант 1.**

Задание 1. Сколько молекул азота находится в сосуде объёмом в 1 л, если температура азота  $27^\circ\text{C}$ , а давление равно  $10^{-6}$  мм рт ст.?

Задание 2. Вычислить среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул водорода при  $0^\circ\text{C}$ .

Задание 3. Восемь граммов кислорода занимают объём  $V = 560$  л. Определить давление этого газа в том же объёме при температуре  $T = 820$  К.

Задание 4. Найти среднее число столкновений в 1 с молекул некоторого газа, если средняя длина свободного пробега молекул при этих условиях равна 5 мкм, а средняя квадратичная скорость его молекул равна 500 м/с.

###### **Вариант 2.**

Задание 1. Сколько молекул находится в одном грамме воды?

Задание 2. Вычислить среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул азота при  $0^\circ\text{C}$ .

Задание 3. В сосуде находится смесь  $m_1 = 7,0$  г азота и  $m_2 = 11$  г углекислого газа

при температуре  $T = 290 \text{ K}$  и давлении  $P_0 = 1,0 \text{ атм}$ . Найти плотность этой смеси, считая газы идеальными.

Задание 4. Найти среднюю длину свободного пробега молекул азота при температуре  $290 \text{ K}$  и давлении  $10 \text{ кПа}$ .

### **Вариант 3.**

Задание 1. Сколько молекул находится в одном кубическом сантиметре воздуха при нормальном давлении и температуре  $0^\circ\text{C}$ ?

Задание 2. Вычислить среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул кислорода при  $0^\circ\text{C}$ .

Задание 3. Требуется найти коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях, если средняя длина свободного пробега молекул при этих условиях равна  $0,16 \text{ мкм}$ .

Задание 4. Найти коэффициент теплопроводности воздуха при температуре  $283 \text{ K}$  и давлении  $0,1 \text{ МПа}$ . Диаметр молекулы воздуха принять равным  $0,3 \text{ нм}$ .

### **Вариант 4.**

Задание 1. Сколько молекул находится в одном грамме воды?

Задание 2. Вычислить среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул азота при  $0^\circ\text{C}$ .

Задание 3. В сосуде находится смесь  $m_1 = 7,0 \text{ г}$  азота и  $m_2 = 11 \text{ г}$  углекислого газа при температуре  $T = 290 \text{ K}$  и давлении  $P_0 = 1,0 \text{ атм}$ . Найти плотность этой смеси, считая газы идеальными.

Задание 4. Найти коэффициент теплопроводности водорода, если известно, что коэффициент внутреннего трения для него при этих условиях равен  $8,6 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$ .

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он верно решил все задачи, указав и пояснив решения с помощью соответствующих законов и зависимостей.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он верно решил все задачи, но допустил неточности, либо если он верно решил и пояснил решение двух задач.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он решил задачи, но не пояснил решение, либо же если он верно решил одну задачу с указанием и пояснением решения.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту в случае, если ни одна задача не решена верно

## Коллоквиум 1. Основы термодинамики. Кинетическая теория газов.

### **Список вопросов**

1. Предмет и задачи курса молекулярной физики. Аксиомы термодинамики.
2. Термодинамические процессы, работа.
3. Первое начало термодинамики.
4. Теплоёмкость. Политропические процессы.
5. Течение газа, скорость звука в газе.
6. Второе начало термодинамики.
7. Теорема Карно, термодинамическая шкала температур.
8. Энтропия и неравенство Клаузиуса.
9. Метод циклов.
10. Термодинамические потенциалы, соотношения Максвелла.
11. Статистическое описание систем многих частиц. Основные понятия теории вероятностей.
12. Кинетическая теория идеального газа. Классическая теория теплоёмкости.
13. Распределения Максвелла по скоростям.
14. Распределение Больцмана. Барометрическая формула, атмосферы планет.
15. Статистический смысл второго начала термодинамики и энтропия. Формула Больцмана для энтропии.

### Критерии оценки:

Оценка «отлично»: даны полные, развёрнутые ответы на четыре вопроса коллоквиума. Ответы должны отличаться логической последовательностью, чёткостью, умением делать выводы. Ответ структурирован. Допускаются незначительные недочёты со стороны обучающегося, исправленные им в процессе ответа.

Оценка «хорошо»: дан полный аргументированный ответ на три вопроса коллоквиума, при ответе на один вопрос имеются существенные недочёты. Возможны некоторые упущения в ответах, однако в целом содержание вопроса раскрыто полно.

Оценка «удовлетворительно»: даны неполные ответы на вопросы коллоквиума, либо дан ответ лишь на два вопроса из четырёх. Слабо аргументированный ответ, свидетельствующий об элементарных знаниях по дисциплине.

Оценка «неудовлетворительно»: отмечено незнание и непонимание поставленных вопросов, слабые ответы на вопросы из предоставленных обучающемуся. Отсутствие аргументации при ответе.

## **Лабораторные работы**

### Перечень лабораторных работ

(11 лабораторных работ)

Лабораторная работа 1. Изучение закона нормального распределения.

Лабораторная работа 2. Броуновское движение в жидкости.

Лабораторная работа 3. Определение средней длины пробега молекул воздуха.

Лабораторная работа 4. Изучение зависимости коэффициента вязкости от температуры на вискозиметре Оствальда.

Лабораторная работа 5. Определение коэффициента внутреннего трения методом Стокса.

Лабораторная работа 6. Определение коэффициента внутреннего трения ротационного вискозиметра.

Лабораторная работа 7. Определение отношения теплоёмкостей газов по способу Клемана и Дезорма.

Лабораторная работа 8. Определение коэффициента поверхностного натяжения методом компенсации разности давлений.

Лабораторная работа 9. Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкостей по методу отрыва кольца.

Лабораторная работа 10. Изучение зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры методом Кантора- Ребиндера.

Лабораторная работа 11. Определение коэффициента объёмного расширения жидкостей.

### **Комплект вопросов к работам лабораторного практикума.**

#### **Лабораторная работа № 1** Изучение закона нормального распределения

- Понятие случайного явления, вероятности случайного явления, статистического закона.
- Для каких случайных величин справедлив нормальный закон распределения?
- Что такое плотность вероятности?
- Гауссов закон распределения вероятностей случайных погрешностей.
- Понятие дисперсии. Как практически оценивается дисперсия для конечного числа измерений?
- Экспериментальная проверка закона нормального распределения случайных погрешностей на механической модели Гальтона.

#### **Лабораторная работа № 2** Броуновское движение в жидкости

- В чём заключается броуновское движение?
- Запишите уравнение Эйнштейна-Смолуховского. От каких параметров зависит движение броуновской частицы?
- Как изменится картина броуновского движения при увеличении температуры?
- Как изменится картина броуновского движения, если водную эмульсию заменить эмульсией на глицерине?

#### **Лабораторная работа № 3** Определение средней длины пробега молекул воздуха

- Средняя длина свободного пробега молекул газа, основная формула, зависимость от параметров состояния газа.
- Внутреннее трение в газах, формула Ньютона.
- Коэффициент внутреннего трения, его физический смысл, размерность, зависимость от параметров состояния газа.
- Формула Пуазейля.
- Устройство капиллярного вискозиметра, ход работы, особенности метода. Обработка результатов измерений.

#### **Лабораторная работа № 4** Изучение зависимости коэффициента вязкости от температуры на вискозиметре Оствальда

- Механизм внутреннего трения в жидкостях. Физический смысл и размерность коэффициента внутреннего трения.

- Температурная зависимость коэффициента вязкости жидкости, отличие ее от аналогичной зависимости для газов.
- Вывод формулы Пуазейля.
- Устройство и принцип действия вискозиметра Оствальда, методика работы с прибором.

#### Лабораторная работа № 5 Определение коэффициента внутреннего трения методом Стокса

- Внутреннее трение в жидкостях. Формула Ньютона.
- Коэффициент внутреннего трения, его физический смысл, размерность, зависимость от температуры жидкости.
- Падение шарика в вязкой среде, предельная скорость падения, время установления предельной скорости.
- Метод Стокса, его особенности.
- Как обрабатывают результаты измерений, если условия опыта не воспроизводятся?

#### Лабораторная работа № 6 Определение коэффициента внутреннего трения ротационного вискозиметра

- Сила внутреннего трения, коэффициент внутреннего трения, его физический смысл, размерность.
- Устройство ротационного вискозиметра, физические основы его работы.
- Вывод рабочей формулы для определения коэффициента вязкости.

#### Лабораторная работа № 7 Определение отношения теплоемкостей газов по способу Клемана и Дезорма

- Первое начало термодинамики.
- Теплоемкость газа. Удельная и молярная теплоемкости.
- Теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме. Связь их с числом степеней свободы молекул газа.
- Вывести уравнение Майера.
- Адиабатный процесс. Уравнение этого процесса в переменных  $P - V$  (уравнение Пуассона),  $P - T$ ,  $V - T$ . График адиабаты.
- Метод Клемана и Дезорма для определения отношения  $C_p/C_v$ .

#### Лабораторная работа № 8 Определение коэффициента поверхностного натяжения методом компенсации разности давлений

- Природа сил поверхностного натяжения.
- Поверхностное натяжение и связанные с ним явления: капиллярность, смачивание, несмачивание.
- Вывод формулы Лапласа.
- Метод определения коэффициента поверхностного натяжения.
- Точность данного метода.

#### Лабораторная работа № 9 Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкостей по методу отрыва кольца

- Природа сил поверхностного натяжения.
- Поверхностное натяжение и связанные с ним явления: капиллярность, смачивание, несмачивание.
- Какие силы действуют на кольцо, находящееся в контакте с поверхностью жидкости?
- Почему в отсутствие внешних сил капли жидкости принимают форму шара?
- Как зависит от температуры поверхностное натяжение жидкости? Как и почему коэффициент поверхностного натяжения жидкости становится равным нулю?

#### Лабораторная работа № 10 Изучение зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры методом Кантора- Ребиндера

- Термодинамика поверхностного натяжения.
- Зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры.
- Метод Кантора – Ребиндера: основа метода, его точность.

## Лабораторная работа № 11 Определение коэффициента объёмного расширения жидкостей

- Причина теплового расширения твердых тел с точки зрения их молекулярного строения.
- Коэффициент линейного расширения, его физический смысл, размерность, зависимость от температуры.
- Связь коэффициентов линейного и объёмного расширения для изотропных кристаллов.
- Какую из величин –  $\Delta L$  или  $L_1$  – следует измерять точнее, почему и примерно во сколько раз?

Почему в качестве  $L_0$  может быть взята длина  $L_1$  стержня, измеренная при комнатной температуре?

### Критерии оценки- сдача лабораторных работ

«Зачтено»: лабораторная работа выполнена. К ней оформлен отчёт. При ответе на вопросы к лабораторной работе обучающийся даёт содержательные ответы, которые отличаются логической последовательностью, чёткостью и умением делать выводы. Обучающийся демонстрирует знания принципа действия и устройства оборудования, на котором выполнялась лабораторная работа.

«Незачтено»: лабораторная работа не выполнена, либо при выполнении работы не оформлен отчёт. В случае выполнения работы и готового отчёта работа не зачитывается, если обучающийся не способен рассказать о методике выполнения работы и принципе работы оборудования.

### **Перечень вопросов к текущей аттестации (зачет):**

1. Молекулы и межмолекулярные взаимодействия. Статистическое описание системы многих частиц. Идеальный газ как простейшая модель статистической системы.
2. Температура как мера средней кинетической энергии молекул. Броуновское движение. Распределение молекул по скоростям.
3. Уравнение состояния идеального газа. Основные газовые законы.
4. Распределение молекул по длинам пробегов, опыты по измерению средней длины пробегов молекул.
5. Релаксационные процессы в газах: законы Фурье, Ньютона- Стокса, Фика. Явления переноса.
6. Разреженные газы.
7. Применение первого начала термодинамики к идеальному газу.
8. Вычисление работы газа по расширению в изопроцессах. Уравнение адиабаты. Политропические процессы.

### Критерии оценки обучающихся на текущей аттестации (зачёт)

«Зачтено»: сдано не менее 90% лабораторных работ по курсу. Оформлены отчёты по работам. При ответе на вопросы к лабораторной работе обучающийся даёт содержательные ответы, которые отличаются логической последовательностью, чёткостью и умением делать выводы. Обучающийся демонстрирует знания принципа действия и устройства оборудования, на котором выполнялась лабораторная работа.

«Незачтено»: сдано менее 90% лабораторных работ по курсу. В случае выполнения работы и готового отчёта работа не зачитывается, если обучающийся не способен рассказать о методике выполнения работы и принципе работы оборудования.

**Список вопросов контрольно-измерительных материалов  
к промежуточной аттестации (экзамен)**

1. Предмет и задачи термодинамики.
2. Метод циклов. Производная внутренней энергии по объёму.
3. Температура. Температурные шкалы.
4. Статистическая модель идеального газа.
5. Состояние термодинамической системы. Термодинамические параметры.
6. Модель газа Ван-дер-Ваальса.
7. Тепловая форма движения материи. Квазистатические процессы.
8. Метод термодинамических функций, соотношения Максвелла.
9. Работа в термодинамике.
10. Изотермы реального газа. Метастабильные состояния.
11. Понятие внутренней энергии в термодинамике.
12. Распространение звука в газах. Скорость истечения газа из малого отверстия.
13. Количество теплоты. Механический эквивалент теплоты.
14. Явления переноса.
15. Первое начало термодинамики.
16. Формула Лапласа. Капиллярные явления.
17. Теплоёмкость.
18. Осмос.
19. Уравнение Майера.
20. Правило фаз Гиббса
21. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона.
22. Фазовые превращения. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
23. Политропические процессы.
24. Поверхностное натяжение.
25. Второе начало термодинамики. Формулировки Томсона-Планка и Клаузиуса.
26. Средняя длина свободного пробега.
27. Теоремы Карно. Абсолютная термодинамическая шкала температур.
28. Растворы. Законы Генри и Рауля.
29. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Правила Максвелла.
30. Статистический смысл второго начала термодинамики.
31. Эффект Джоуля-Томсона.
32. Распределение Максвелла.
33. Диаграммы состояния бинарных смесей.
34. Распределение Больцмана. Барометрическая формула.
35. Фазовые диаграммы. Зависимость давления насыщенного пара от температуры.
36. Энтропия. Неравенство Клаузиуса.
37. Теплоёмкость.
38. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.



**Пример контрольно-измерительных материалов**  
**к промежуточной аттестации (экзамен)**

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой общей физики  
\_\_\_\_\_ (Турищев С.Ю.)

Направление подготовки 03.03.02 Радиофизика

Дисциплина Молекулярная физика Форма обучения очная

Вид контроля экзамен Вид аттестации промежуточная

**Контрольно-измерительный материал №**

1. Уравнение Майера.
2. Статистическая модель идеального газа.

Составитель \_\_\_\_\_ Меремьянин А.В.  
*подпись* *расшифровка подписи*

Промежуточная аттестация по дисциплине – экзамен. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*. Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета.

Критерии оценки (экзамен по теоретическому курсу «Молекулярная физика»):

Оценка *«отлично»*: уровень сформированности компетенций – высокий (углубленный). Полное соответствие ответа студента на предлагаемый вопрос четырём вышеуказанным показателям и осваиваемым компетенциям. Компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объёме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень.

Оценка *«хорошо»*: уровень сформированности компетенций – повышенный (продвинутый). Ответ студента выявляет недостаточное владение необходимыми теоретическими и практическими навыками. Компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объёме, что выражается в отдельных неточностях (несущественных ошибках) при ответе. Ответ отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой, чем при высоком (углублённом) уровне сформированности компетенций. Однако допущенные ошибки исправляются самим студентом после дополнительных вопросов преподавателя.

Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень.

Оценка *«удовлетворительно»*: ответ студента отличается непоследовательностью, неумением делать выводы, слабым освоением теоретических и практических навыков. Компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично, что выражается в допускаемых неточностях и существенных ошибках при ответе, нарушении логики изложения, неумении аргументировать и обосновывать суждения и профессиональную позицию. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу.

Оценка *«неудовлетворительно»*: компетенции не сформированы, что выражается в разрозненных, бессистемных, отрывочных знаниях, допускаемых грубых профессиональных ошибках, неумении выделять главное и второстепенное, связывать теорию с практикой, устанавливать межпредметные связи, формулировать выводы по ответу, отсутствии собственной профессиональной позиции.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объёме и в сроки, определённые графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Молекулярная физика» и отражённых в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

## Фонд оценочных средств сформированности компетенций

### Код и наименование компетенции: ОПК-1.4

Решает типовые задачи с учетом основных понятий и общих закономерностей, сформулированных в рамках базовых дисциплин естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке)

Период окончания формирования компетенции: 4 семестр

Перечень дисциплин (модулей), практик, участвующих в формировании компетенции:

Дисциплины (модули) (блок 1):

Б1.О.19 Молекулярная физика (2 семестр)

### Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

1) тестовые задания (жирным шрифтом выделен правильный ответ):

- В состоянии термодинамического равновесия температура системы  
**Ответ:** а) может меняться, **б)** всюду постоянна, в) уменьшается.
- Элементарная работа газа определяется формулой  
**а)**  $\delta A = pdV$ , **б)**  $A = Vdp$ , **в)**  $A = pV$ .
- В политропическом процессе теплоёмкость  
**Ответ:** а) не определена, **б)** уменьшается, **в)** постоянна, г) растёт.
- Величина разности теплоёмкостей  $C_p - C_v$   
**Ответ:** а) всегда положительна, б) равна нулю, в) может иметь любую величину.
- Первое начало термодинамики записывают в виде формулы  
**Ответ:** а)  $\delta Q = dU + \delta A$ , б)  $Q = U + A$ , в)  $\Delta Q = \Delta U + pV$ .
- В процессе Джоуля-Томсона сохраняется  
**Ответ:** а) энтропия, **б)** энтальпия, в) свободная энергия.
- Какой формулой определяется КПД цикла Карно ( $T_2$  — температура нагревателя,  $T_1$  — температура холодильника)?  
**Ответ:** а)  $(T_1 - T_2)/T_2$ , **б)**  $1 - T_1/T_2$ , в)  $T_1/T_2$ .
- От чего зависит внутренняя энергия идеального газа?  
**Ответ:** а) от давления и температуры, **б)** от температуры, в) от объёма.
- Чему равен модуль среднего значения вектора скорости молекул газа?  
**Ответ:** а)  $\sqrt{RT/M}$ , **б)** 0, в)  $\sqrt{kT/\pi m_0}$ .
- Средняя и среднеквадратичная скорости молекул газа  
**Ответ:** а) равны друг другу, **б)** различаются.
- Наивероятнейшая скорость молекул газа  
**Ответ:** а) равна средней скорости, б) равна среднеквадратичной скорости, **в)** не равна ни средней, ни среднеквадратичной скорости.
- Барометрическая формула верна в случае  
**Ответ:** а) постоянного объёма газа, **б)** постоянной температуры газа, в) постоянного давления газа.
- При истечении газа из малого отверстия при нормальных условиях  
**Ответ:** а) температура водорода растёт, а азота — уменьшается, б) температура и для азота и для водорода растёт, в) температура и для азота и для гелия увеличивается.
- В состоянии высокого вакуума средняя длина свободного пробега молекул:  
**Ответ:** а) больше размеров сосуда; б) сравнима с размерами сосуда; в) много меньше размеров сосуда.
- Коэффициент поверхностного натяжения в критической точке:

Ответ: а) максимален; б) равен нулю; в) меняет знак.

2) расчётные задачи:

1. Шар массой 198 г наполнен азотом и находится неподвижно в воде на глубине 73 м, где температура воды 7° С. Найти массу азота в шаре. Атмосферное давление равно 100 кПа. Молярная масса азота 28 г/моль, универсальная газовая постоянная 8300 Дж/(кмоль · К).

Ответ: 2 г.

2. В сосуде находится смесь  $m_1 = 7,0$  г азота и  $m_2 = 11$  г углекислого газа при температуре  $T = 290$  К и давлении  $p = 1,0$  атм. Найти плотность этой смеси, считая газы идеальными.

Ответ:  $\rho = p(m_1 + m_2) / RT(m_1/M_1 + m_2/M_2) = 1,5$  кг/м<sup>3</sup>.

3. Объем моля идеального газа с показателем адиабаты  $\gamma$  изменяют по закону  $V = \alpha/T$ , где  $\alpha$  – постоянная. Найти количество тепла, полученное газом в этом процессе, если его температура испытала приращение  $\Delta T$ .

Ответ:  $Q = R\Delta T (2 - \gamma) / (\gamma - 1)$ .

4. Один моль некоторого газа находится в сосуде объемом  $V = 0,250$  л. При  $T_1 = 300$  К давление газа  $p_1 = 90$  атм, а при  $T_2 = 350$  К давление  $p_2 = 110$  атм. Найти постоянные Ван дер Ваальса для этого газа.

Ответ:  $a = V^2 \frac{T_1 p_2 - T_2 p_1}{T_2 - T_1} = 0,19$  Па·м<sup>6</sup>/моль<sup>2</sup>,

$b = V - R \frac{T_2 - T_1}{p_2 - p_1} = 0,042$  л/моль.

5. Найти капиллярное давление в капельках ртути диаметра  $d = 1,5$  мкм ( $\sigma = 487$  мН/м).

**Решение**

По формуле Лапласа избыточное давление под искривлённой сферической поверхностью равно

$$\Delta p = 2\sigma/R,$$

где  $R$  — радиус поверхности (шарика, в данном случае). Учитывая, что  $R = d/2$ , получаем ответ.

Ответ:  $\Delta p = 4\sigma/d = 1,3$  МПа = 13 атм.

6. В каком случае КПД цикла Карно повышается больше – при увеличении температуры нагревателя или при уменьшении температуры холодильника?

Ответ: При уменьшении температуры.

7. Найти КПД цикла, состоящего из двух изобар и двух адиабат, если в пределах цикла давление идеального газа изменяется в  $n = 10$  раз. Рабочее вещество – идеальный газ с показателем адиабаты  $\gamma$ .

Ответ:  $\eta = 1 - n^{-(\gamma-1)/\gamma}$ .

8. Определить высоту поднятия воды в круглом стеклянном капилляре диаметром 1,2 мм. Коэффициент поверхностного натяжения воды принять равным 70 мН/м, смачивание полное.

**Решение**

По формуле Лапласа избыточное давление под поверхностью мениска равно

$$\Delta p = \frac{-2\sigma \cos \alpha}{R},$$

где  $R$  — радиус капилляра,  $\alpha$  — краевой угол. В случае полного смачивания  $\alpha = 0$ . Знак «-» показывает, что давление под вогнутой поверхностью понижается. Отрицательное избыточное давление компенсируется давлением столбика воды в капилляре, которое равно  $\rho gh$ . Получаем равенство

$$\frac{2\sigma}{R} = \rho gh,$$

откуда находим  $h$ :

$$h = 2\sigma / \rho g R = 24 \text{ мм.}$$

Ответ: 24 мм.

9. Вычислить  $\gamma$  для газовой смеси, состоящей из  $\nu_1=2,0$  моль кислорода и  $\nu_2=3,0$  моль углекислого газа. Газы считать идеальными.  
*Ответ:*  $\gamma = (\nu_1 \gamma_1 (\gamma_2 - 1) + \nu_2 \gamma_2 (\gamma_1 - 1)) / (\nu_1 (\gamma_2 - 1) + \nu_2 (\gamma_1 - 1)) = 1,33$ .
10. Один моль кислорода, находившегося при температуре  $T_0=290$  К, адиабатически сжали так, что его давление возросло в  $\eta = 10,0$  раз. Найти температуру газа после сжатия.  
*Ответ:*  $T = T_0 \eta^{1/\gamma} = 560$  К.
11. Один моль кислорода, находившегося при температуре  $T_0=290$  К, адиабатически сжали так, что его давление возросло в  $\eta = 10,0$  раз. Найти работу, которая была совершена над газом.  
*Ответ:*  $A = R T_0 (\eta^{1/\gamma} - 1) / (\gamma - 1) = 5,6$  кДж.
12. Один моль идеального газа, теплоемкость которого при постоянном давлении  $C_p$ , совершает процесс по закону  $p = p_0 + \alpha/V$ , где  $p_0$  и  $\alpha$  — постоянные. Найти сообщенное газу тепло при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .  
*Ответ:*  $Q = p_0 (V_2 - V_1) + R T_0 \ln (V_2/V_1)$ .
13. Один моль идеального газа, теплоемкость которого при постоянном давлении  $C_p$ , совершает процесс по закону  $T = T_0 + \alpha V$ , где  $T_0$  и  $\alpha$  — постоянные. Найти сообщенное газу тепло при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .  
*Ответ:*  $Q = \alpha C_p (V_2 - V_1) + R T_0 \ln (V_2/V_1)$ .
14. Вычислить показатель адиабаты  $\gamma$  для смеси, состоящей из  $\nu_1$  молей одноатомного газа и  $\nu_2$  молей двухатомного газа из жёстких молекул.  
*Ответ:*  $\gamma = (5\nu_1 + 7\nu_2) / (3\nu_1 + 5\nu_2)$ .
15. Найти число степеней свободы молекул идеального газа, молярная теплоёмкость которого при постоянном давлении  $C_p = 29$  Дж/(моль·К).  
*Ответ:*  $i = 2(C_p/R - 1) = 5$ .
16. Найти давление 15 г азота, находящегося в сосуде объёмом 1 л, если его температура равна  $20^\circ$  С.  
*Ответ:*  $p = 0,83$  МПа.
17. Найти работу одного моля азота, совершённую при его адиабатическом расширении, если температура азота в этом процессе уменьшилась от 350 до 300 К.  
*Ответ:* 1 кДж.
18. Определить приращение внутренней энергии одного моля кислорода, если его температура увеличилась на 50 К.  
*Ответ:* 1 кДж.
19. Двум молям азота сообщили 1 кДж теплоты. Насколько увеличится температура азота, если его объём в ходе нагрева не изменялся?  
*Ответ:* 24 К.

**Код и наименование компетенции:  
ОПК-1.5**

**Умеет использовать знания основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности**

**Период окончания формирования компетенции: 4 семестр**

**Перечень дисциплин (модулей), практик, участвующих в формировании компетенции:**

Дисциплины (модули) (блок 1):

Б1.О.19 Молекулярная физика (2 семестр)

**Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:**

1) тестовые задания (жирным шрифтом выделен правильный ответ):

1. От чего зависит энергия газа Ван дер Ваальса?  
**Ответ: а) только от температуры, б) от объёма и температуры, в) от давления.**
2. Средняя длина свободного пробега молекул газа определяет  
**Ответ: а) коэффициенты переноса, б) внутреннюю энергию газа, в) давление газа.**
3. При температуре выше критической  
**Ответ: а) твёрдую фазу нельзя перевести в жидкое состояние; б) жидкую фазу нельзя перевести в твёрдое состояние; в) вещество может существовать только в газовой фазе.**
4. Плавление льда сопровождается  
**Ответ: а) поглощением теплоты; б) выделением теплоты; в) теплота не выделяется и не поглощается.**
5. В состоянии высокого вакуума средняя длина свободного пробега молекул:  
**Ответ: а) больше размеров сосуда; б) сравнима с размерами сосуда; в) много меньше размеров сосуда.**
6. Коэффициент поверхностного натяжения в критической точке:  
**Ответ: а) максимален; б) равен нулю; в) меняет знак.**
7. Согласно молекулярно-кинетической теории, на одну степень свободы молекулы идеального газа приходится энергия, равная  
**Ответ: а)  $kT/2$ ; б)  $m_0v^2/2$ ; в)  $kT$ .**
8. Как соотносятся молярные теплоёмкости при постоянном давлении и постоянном объёме?  
**Ответ: а)  $C_p > C_v$ ; б)  $C_p < C_v$ ; в) может быть  $C_p > C_v$  либо  $C_p < C_v$  в зависимости от вида процесса.**
9. Какие фазовые переходы сопровождаются поглощением (или выделением) теплоты?  
**Ответ: а) фазовые переходы первого рода; б) фазовые переходы второго рода; в) любые фазовые переходы.**
10. Плавление вещества сопровождается  
**Ответ: а) поглощением теплоты; б) выделением теплоты; в) происходит без теплообмена.**
11. Кристаллизация жидкостей сопровождается  
**Ответ: а) поглощением теплоты; б) выделением теплоты; в) происходит без теплообмена.**
12. Чему равна температура тройной точки воды?  
**Ответ: а)  $0,01^\circ\text{C}$ ; б)  $0^\circ\text{C}$ ; в)  $300\text{K}$ ; г)  $100^\circ\text{C}$ .**
13. При изотермическом расширении идеального газа его температура:  
**Ответ: а) не меняется; б) уменьшается; в) увеличивается.**
14. Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа определяется:  
**Ответ: а) среднеквадратичной скоростью молекулы газа; б) средней скоростью молекулы газа; в) наивероятнейшей скоростью молекулы газа.**

15. Первое начало термодинамики утверждает невозможность существования:  
*Ответ:* а) вечного двигателя первого рода; б) вечного двигателя второго рода; в) любого вечного двигателя.

2) расчетные задачи:

1. В каком случае КПД цикла Карно повышается больше – при увеличении температуры нагревателя или при уменьшении температуры холодильника?

*Ответ:* При уменьшении температуры.

2. Найти КПД цикла, состоящего из двух изобар и двух адиабат, если в пределах цикла давление идеального газа изменяется в  $n = 10$  раз. Рабочее вещество – идеальный газ с показателем адиабаты  $\gamma$ .

*Ответ:*  $\eta = 1 - n^{-(\gamma-1)/\gamma}$ .

3. Современные вакуумные насосы позволяют получать давления до  $p = 4 \cdot 10^{-10}$  Па (при комнатной температуре). Найти число молекул газа в  $1 \text{ см}^3$  и среднее расстояние между ними при этом давлении.

*Ответ:*  $n = p/kT = 10^5 \text{ см}^{-3}$ ,  $\langle l \rangle = 0,2 \text{ мм}$ .

4. Вычислить  $\gamma$  для газовой смеси, состоящей из  $\nu_1 = 2,0$  моль кислорода и  $\nu_2 = 3,0$  моль углекислого газа. Газы считать идеальными.

*Ответ:*  $\gamma = (\nu_1 \gamma_1 (\gamma_2 - 1) + \nu_2 \gamma_2 (\gamma_1 - 1)) / (\nu_1 (\gamma_2 - 1) + \nu_2 (\gamma_1 - 1)) = 1,33$ .

5. Один моль кислорода, находившегося при температуре  $T_0 = 290 \text{ К}$ , адиабатически сжали так, что его давление возросло в  $\eta = 10,0$  раз. Найти температуру газа после сжатия.

**Решение**

В данных условиях кислород можно считать идеальным газом. Уравнение адиабатического процесса для идеального газа (уравнение Пуассона) имеет вид:

$$p V^\gamma = \text{const.}$$

Пусть  $p_1, p_2$  — давление в начале и конце процесса. Давление газа в начале и конце сжатия обозначим  $V_1, V_2$ . Из уравнения Пуассона получаем

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma.$$

Преобразуем это уравнение:

$$p_1^{1-\gamma} (p_1 V_1)^\gamma = p_2^{1-\gamma} (p_2 V_2)^\gamma.$$

Запишем теперь уравнение состояния одного моля идеального газа:

$$p_1 V_1 = T_0, \quad p_2 V_2 = RT.$$

Подставляя это уравнение в уравнение Пуассона, избавляемся от объёмов:

$$p_1^{1-\gamma} T_0^\gamma = p_2^{1-\gamma} T^\gamma.$$

По условию задачи  $p_2 = \eta p_1$ , откуда получаем

$$T_0^\gamma = \eta^{1-\gamma} T^\gamma.$$

Остается выразить остюда  $T$ .

*Ответ:*  $T = T_0 \eta^{1/\gamma} = 560 \text{ К}$ .

6. Найти число степеней свободы молекул идеального газа, молярная теплоёмкость которого при постоянном давлении  $C_p = 29 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ .

*Ответ:*  $i = 2(C_p/R - 1) = 5$ .

7. Один моль идеального газа, постоянная адиабаты которого равна  $\gamma$ , совершает процесс по закону  $p = p_0 + \alpha/V$ , где  $p_0$  и  $\alpha$  — постоянные. Найти сообщенное газу тепло при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .

**Решение**

Запишем первое начало термодинамики

$$\delta Q = dU + p dV.$$

Выражение для  $Q$  получается интегрированием по объёму. Учтём, что интеграл от  $dU$  равен изменению внутренней энергии газа в данном процессе:

$$Q = \Delta U + \int_{V_1}^{V_2} p dV = C_V(T_2 - T_1) + p_0(V_2 - V_1) + \alpha \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}.$$

Для идеального газа молярная теплоёмкость при постоянном объёме равна  $C_V = R/(\gamma - 1)$ . Разницу температур находим из уравнения состояния идеального газа:

$$T_2 - T_1 = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{R} = \frac{p_0 (V_2 - V_1)}{R}.$$

Подставляя эту формулу в выражение для Q и вычисляя интеграл, получаем

$$Q = \frac{\gamma p_0 (V_2 - V_1)}{\gamma - 1} + \alpha \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

*Ответ:*  $Q = \gamma p_0 (V_2 - V_1) / (\gamma - 1) + \alpha \ln (V_2 / V_1)$ .

8. Один моль кислорода, находившегося при температуре  $T_0 = 290$  К, адиабатически сжали так, что его давление возросло в  $\eta = 10,0$  раз. Найти работу, которая была совершена над газом.

*Ответ:*  $A = R T_0 (\eta^{1-1/\gamma} - 1) / (\gamma - 1) = 5,6$  кДж.

9. Один моль идеального газа, отношение теплоемкостей для которого равно  $\gamma$ , совершает процесс по закону  $T = T_0 + \alpha V$ , где  $T_0$  и  $\alpha$  — постоянные. Найти сообщенное газу тепло при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .

Решение

Запишем первое начало термодинамики

$$\delta Q = dU + p dV.$$

Выражение для Q получается интегрированием по объёму. Учтём, что интеграл от dU равен изменению внутренней энергии газа в данном процессе:

$$Q = \Delta U + \int_{V_1}^{V_2} p dV = C_V (T_2 - T_1) + \int_{V_1}^{V_2} p dV.$$

Для идеального газа молярная теплоёмкость при постоянном объёме равна  $C_V = R / (\gamma - 1)$ . Разницу температур находим из уравнения процесса:

$$T_2 - T_1 = \alpha (V_2 - V_1).$$

Выразим давление через объём. Для этого используем уравнение состояния идеального газа:

$$p = \frac{RT}{V} = \frac{RT_0}{V} + \alpha R.$$

Подставляя эту формулу в выражение для Q, получаем

$$Q = \frac{\alpha R (V_2 - V_1)}{\gamma - 1} + RT_0 \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} + \alpha R (V_2 - V_1).$$

Вычисляя интеграл, после элементарных преобразований получаем ответ.

*Ответ:*  $Q = \alpha \gamma C_p (V_2 - V_1) / (\gamma - 1) + R T_0 \ln (V_2 / V_1)$ .

10. Вычислить показатель адиабаты  $\gamma$  для смеси, состоящей из  $\nu_1$  молей одноатомного газа и  $\nu_2$  молей двухатомного газа из жёстких молекул.  
 Ответ:  $\gamma = (5\nu_1 + 7\nu_2) / (3\nu_1 + 5\nu_2)$ .

11. Какому давлению необходимо подвергнуть углекислый газ при  $T = 300$  К, чтобы его плотность оказалась равной  $\rho = 500$  г/л? Расчёт провести для идеального газа.

*Ответ:*  $p = \rho RT / M = 280$  атм.

12. Какое количество тепла надо сообщить азоту при изобарическом нагревании, чтобы газ совершил работу  $A = 2,0$  Дж?

*Ответ:*  $Q = A \gamma / (\gamma - 1) = 7$  Дж.

13. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на  $\Delta T = 72$  К, сообщив ему количество тепла  $Q = 1,60$  кДж. Найти приращение его внутренней энергии.

*Ответ:*  $\Delta U = Q - R \Delta T = 1,00$  кДж.

14. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на  $\Delta T = 72$  К, сообщив ему количество тепла  $Q = 1,60$  кДж. Найти отношение теплоемкостей  $\gamma$ .

*Ответ:*  $\gamma = Q / (Q - R \Delta T) = 1,6$ .

15. В сосуде находится смесь  $m_1 = 7,0$  г азота и  $m_2 = 11$  г углекислого газа при температуре  $T = 290$  К и давлении  $p = 1,0$  атм. Найти плотность этой смеси, считая газы идеальными.

*Ответ:*  $\rho = p (m_1 + m_2) / RT (m_1 / M_1 + m_2 / M_2) = 1,5$  кг/м<sup>3</sup>.



## Код и наименование компетенции:

### ОПК-1.6

Владеет навыками использования знаний о методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук при решении практических задач, структурирования естественно-научной информации

Период окончания формирования компетенции: 4 семестр

Перечень дисциплин (модулей), практик, участвующих в формировании компетенции:

Дисциплины (модули) (блок 1):

Б1.О.19 Молекулярная физика (2 семестр)

### Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

1) тестовые задания (жирным шрифтом выделен правильный ответ):

- Адиабатическая система совершает круговой квазистатический процесс. При этом её энтропия  
**Ответ: в)** растёт, б) уменьшается, в) не меняется.
- Мениск ртути в стеклянном капилляре имеет форму  
**Ответ: а)** выпуклую, б) вогнутую.
- Процесс растворения сопровождается  
**Ответ: а)** выделением либо поглощением теплоты, б) всегда выделением теплоты, в) всегда поглощением теплоты, г) теплота не выделяется и не поглощается.
- Чему равна температура тройной точки воды?  
**Ответ: а)** 0,01° С; б) 0° С; в) 300 К; г) 100° С.
- При изотермическом расширении идеального газа его температура:  
**Ответ: а)** не меняется; б) уменьшается; в) увеличивается.
- Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа определяется:  
**Ответ: а)** среднеквадратичной скоростью молекулы газа; б) средней скоростью молекулы газа; в) наивероятнейшей скоростью молекулы газа.
- Первое начало термодинамики утверждает невозможность существования:  
**Ответ: а)** вечного двигателя первого рода; б) вечного двигателя второго рода; в) любого вечного двигателя.
- Что объясняет закон Дюлонга и Пти?  
**Ответ: а)** теплоёмкость твёрдых тел, б) теплоёмкость газов, в) коэффициент поверхностного натяжения.
- Где используют эффект Джоуля-Томсона?  
**Ответ: а)** в холодильных установках, б) в нагревательных элементах, в) в насосах.
- Где используется явление обратного осмоса?  
**Ответ: а)** в опреснительных установках, б) в холодильных установках, в) калориметрах.
- В состоянии высокого вакуума средняя длина свободного пробега молекул:  
**Ответ: а)** больше размеров сосуда; б) сравнима с размерами сосуда; в) много меньше размеров сосуда.
- Коэффициент поверхностного натяжения в критической точке:  
**Ответ: а)** максимален; б) равен нулю; в) меняет знак.
- Согласно молекулярно-кинетической теории, на одну степень свободы молекулы идеального газа приходится энергия,  
**Ответ: а)**  $kT/2$ ; б)  $m_0v^2/2$ ; в)  $kT$ .
- Какой процесс описывается уравнением  $S=const$ ?  
**Ответ: а)** изобарный; б) адиабатический; в) изотермический.
- В каком процессе теплоёмкость одного моля газа больше?  
**Ответ: а)**  $C_p < C_v$ ; б)  $C_p > C_v$ .

## 2) расчетные задачи:

1. Два мыльных пузыря с радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , слившись, образовали пузырь радиуса  $R$ . Атмосферное давление равно  $p$ . Считая процесс изотермическим, найти поверхностное натяжение мыльной воды  $\sigma$ .  
*Ответ:*  $\sigma = p(R^3 - R_1^3 - R_2^3)/(4(R_1^2 + R_2^2 - R^2))$ .
2. Пространство в цилиндре под поршнем, имеющее объем  $V_0 = 5,0$  л, занимает один насыщенный водяной пар, температура которого  $t = 100^\circ \text{C}$ . Найти массу жидкой фазы, образовавшейся в результате изотермического уменьшения объема под поршнем до  $V = 1,6$  л. Насыщенный водяной пар считать идеальным газом.  
*Ответ:*  $m_l \approx M p_0 (V_0 - V)/RT$ , где  $p_0$  – нормальное давление.
3. Давление  $p$  насыщенного пара ртути зависит от температуры  $T$  по закону  $\ln p = -a/T - b \ln T + c$ , где  $a, b, c$  – постоянные. Найти молярную теплоту испарения ртути как функцию температуры  $q(T)$ .  
*Ответ:*  $q = R(a - bT)$ .
4. В сосуде находится смесь  $m_1 = 7,0$  г азота и  $m_2 = 11$  г углекислого газа при температуре  $T = 290$  К и давлении  $p = 1,0$  атм. Найти плотность этой смеси, считая газы идеальными.  
*Ответ:*  $\rho = p(m_1 + m_2)/RT(m_1/M_1 + m_2/M_2) = 1,5$  кг/м<sup>3</sup>.
5. Вычислить  $\gamma$  для газовой смеси, состоящей из  $\nu_1 = 2,0$  моль кислорода и  $\nu_2 = 3,0$  моль углекислого газа. Газы считать идеальными.  
*Ответ:*  $\gamma = (\nu_1 \gamma_1 (\gamma_2 - 1) + \nu_2 \gamma_2 (\gamma_1 - 1))/(\nu_1 (\gamma_2 - 1) + \nu_2 (\gamma_1 - 1)) = 1,33$ .
6. Один моль кислорода, находившегося при температуре  $T_0 = 290$  К, адиабатически сжали так, что его давление возросло в  $\eta = 10,0$  раз. Найти температуру газа после сжатия.  
*Ответ:*  $T = T_0 \eta^{1-\gamma} = 560$  К.
7. Один моль кислорода, находившегося при температуре  $T_0 = 290$  К, адиабатически сжали так, что его давление возросло в  $\eta = 10,0$  раз. Найти работу, которая была совершена над газом.  
*Ответ:*  $A = R T_0 (\eta^{1-\gamma} - 1)/(\gamma - 1) = 5,6$  кДж.
8. Один моль идеального газа, отношение теплоемкостей для которого равно  $\gamma$ , совершает процесс по закону  $p = p_0 + \alpha/V$ , где  $p_0$  и  $\alpha$  — постоянные. Найти сообщенное газу тепло при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .  
*Ответ:*  $Q = p_0 \gamma R(V_2 - V_1)/(\gamma - 1) + R T_0 \ln(V_2/V_1)$ .
9. Один моль идеального газа, отношение теплоемкостей для которого равно  $\gamma$ , совершает процесс по закону  $T = T_0 + \alpha V$ , где  $T_0$  и  $\alpha$  — постоянные. Найти сообщенное газу тепло при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .  
*Ответ:*  $Q = \alpha R \gamma (V_2 - V_1)/(\gamma - 1) + R T_0 \ln(V_2/V_1)$ .
10. Вычислить показатель адиабаты  $\gamma$  для смеси, состоящей из  $\nu_1$  молей одноатомного газа и  $\nu_2$  молей двухатомного газа из жестких молекул.  
*Ответ:*  $\gamma = (5\nu_1 + 7\nu_2)/(3\nu_1 + 5\nu_2)$ .
11. Найти число степеней свободы молекул идеального газа, молярная теплоёмкость которого при постоянном давлении  $C_p = 29$  Дж/(моль·К).  
*Ответ:*  $i = 2(C_p/R - 1) = 5$ .
12. Какому давлению необходимо подвергнуть углекислый газ при  $T = 300$  К, чтобы его плотность оказалась равной  $\rho = 500$  г/л? Расчёт провести для идеального газа.  
*Ответ:*  $p = \rho RT/M = 280$  атм.
13. Какое количество тепла надо сообщить азоту при изобарическом нагревании, чтобы газ совершил работу  $A = 2,0$  Дж?  
*Ответ:*  $Q = A\gamma/(\gamma - 1) = 7$  Дж.
14. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на  $\Delta T = 72$  К, сообщив ему количество тепла  $Q = 1,60$  кДж. Найти приращение его внутренней энергии.  
*Ответ:*  $\Delta U = Q - R\Delta T = 1,00$  кДж.
15. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на  $\Delta T = 72$  К, сообщив ему количество тепла  $Q = 1,60$  кДж. Найти отношение теплоемкостей  $\gamma$ .  
*Ответ:*  $\gamma = Q/(Q - R\Delta T) = 1,6$ .

## Код и наименование компетенции:

ОПК-2.1

Выбирает и использует соответствующие ресурсы, современные методики и оборудование для проведения экспериментальных исследований и измерений

Период окончания формирования компетенции: 4 семестр

Перечень дисциплин (модулей), практик, участвующих в формировании компетенции:

Дисциплины (модули) (блок 1):

Б1.О.19 Молекулярная физика (2 семестр)

### Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

1) тестовые задания (жирным шрифтом выделен правильный ответ):

1. Какую величину можно измерить с помощью метода Клемана и Дезорма?  
**Ответ: а)** отношение теплоёмкостей, б) удельную теплоёмкость, в) коэффициент теплового расширения.
2. Осуществление вечного двигателя второго рода противоречит  
**Ответ: а)** второму началу термодинамики, б) первому началу термодинамики, в) закону сохранения импульса.
3. Что объясняет закон Дюлонга и Пти?  
**Ответ: а)** теплоёмкость твёрдых тел, б) теплоёмкость газов, в) коэффициент поверхностного натяжения.
4. Где используют эффект Джоуля-Томсона?  
**Ответ: а)** в холодильных установках, б) в нагревательных элементах, в) в насосах.
5. Где используется явление обратного осмоса?  
**Ответ: а)** в опреснительных установках, б) в холодильных установках, в) калориметрах.
6. Можно ли методом перегонки разделить азеотропную смесь?  
**Ответ: а)** нельзя, б) можно.
7. Чему равна температура тройной точки воды?  
**Ответ: а)** 0,01° С; б) 0° С; в) 300 К; г) 100° С.
8. При изотермическом расширении идеального газа его температура:  
**Ответ: а)** не меняется; б) уменьшается; в) увеличивается.
9. Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа определяется:  
**Ответ: а)** среднеквадратичной скоростью молекулы газа; б) средней скоростью молекулы газа; в) наивероятнейшей скоростью молекулы газа.
10. В состоянии высокого вакуума средняя длина свободного пробега молекул:  
**Ответ: а)** больше размеров сосуда; б) сравнима с размерами сосуда; **в)** много меньше размеров сосуда.
11. Коэффициент поверхностного натяжения в критической точке:  
**Ответ: а)** максимален; **б)** равен нулю; в) меняет знак.
12. Согласно молекулярно-кинетической теории, на одну степень свободы молекулы идеального газа приходится энергия, равная  
**Ответ: а)**  $kT/2$ ; б)  $m_0v^2/2$ ; в)  $kT$ .
13. В процессе Джоуля-Томсона сохраняется  
**Ответ: а)** энтропия, **б)** энтальпия, в) свободная энергия.
14. Какой формулой определяется КПД цикла Карно ( $T_2$  — температура нагревателя,  $T_1$  — температура холодильника)?  
**Ответ: а)**  $(T_1 - T_2)/T_2$ , **б)**  $1 - T_1/T_2$ , в)  $T_1/T_2$ .
15. Как выглядит кривая, изображающая адиабатический процесс на диаграмме S-T?  
**Ответ: а)** гипербола; **б)** горизонтальный отрезок прямой; в) парабола; г) вертикальный отрезок прямой.

## 2) расчетные задачи:

- Идеальный газ, показатель адиабаты которого  $\gamma$ , расширяют так, что сообщаемое газу тепло равно убыли его внутренней энергии. Найти молярную теплоёмкость газа в этом процессе.  
*Ответ:*  $C = -R/(\gamma - 1)$ .
- Сосуд с газом из жёстких двухатомных молекул движется со скоростью  $v = 20$  м/с. Молярная масса газа  $M = 32$  г/моль. Найти приращение температуры газа после внезапной остановки сосуда.  
*Ответ:*  $\Delta T = Mv^2/(iR) = 0,31$  К, где  $i = 5$ .
- Один конец стержня, заключённого 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 теплопроводности  $\kappa_1$  и  $\kappa_2$ . Найти температуру поверхности соприкосновения этих частей стержня.  
*Ответ:*  $T_c = (\kappa_1 T_1 / l_1 + \kappa_2 T_2 / l_2) / (\kappa_1 / l_1 + \kappa_2 / l_2)$ .
- Найти среднюю длину свободного пробега и среднее время между столкновениями молекул азота при нормальных условиях.  
*Ответ:*  $\lambda = 0,06$  мкм.
- Вычислить  $\gamma$  для газовой смеси, состоящей из  $v_1 = 2,0$  моль кислорода и  $v_2 = 3,0$  моль углекислого газа. Газы считать идеальными.  
*Ответ:*  $\gamma = (v_1 \gamma_1 (\gamma_2 - 1) + v_2 \gamma_2 (\gamma_1 - 1)) / (v_1 (\gamma_2 - 1) + v_2 (\gamma_1 - 1)) = 1,33$ .
- Один моль кислорода, находившегося при температуре  $T_0 = 290$  К, адиабатически сжали так, что его давление возросло в  $\eta = 10,0$  раз. Найти температуру газа после сжатия.  
*Ответ:*  $T = T_0 \eta^{1/\gamma} = 560$  К.
- Один моль кислорода, находившегося при температуре  $T_0 = 290$  К, адиабатически сжали так, что его давление возросло в  $\eta = 10,0$  раз. Найти работу, которая была совершена над газом.  
*Ответ:*  $A = R T_0 (\eta^{1/\gamma} - 1) / (\gamma - 1) = 5,6$  кДж.
- Один моль идеального газа, отношение теплоемкостей для которого равно  $\gamma$ , совершает процесс по закону  $p = p_0 + \alpha/V$ , где  $p_0$  и  $\alpha$  — постоянные. Найти сообщенное газу тепло при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .  
*Ответ:*  $Q = p_0 R \gamma (V_2 - V_1) / (\gamma - 1) + R T_0 \ln (V_2 / V_1)$ .
- Один моль идеального газа, отношение теплоемкостей для которого равно  $\gamma$ , совершает процесс по закону  $T = T_0 + \alpha V$ , где  $T_0$  и  $\alpha$  — постоянные. Найти сообщенное газу тепло при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .  
*Ответ:*  $Q = \alpha R \gamma (V_2 - V_1) / (\gamma - 1) + R T_0 \ln (V_2 / V_1)$ .
- Вычислить показатель адиабаты  $\gamma$  для смеси, состоящей из  $v_1$  молей одноатомного газа и  $v_2$  молей двухатомного газа из жёстких молекул.  
*Ответ:*  $\gamma = (5v_1 + 7v_2) / (3v_1 + 5v_2)$ .
- Найти число степеней свободы молекул идеального газа, молярная теплоёмкость которого при постоянном давлении  $C_p = 29$  Дж/(моль·К).  
*Ответ:*  $i = 2(C_p/R - 1) = 5$ .
- Какому давлению необходимо подвергнуть углекислый газ при  $T = 300$  К, чтобы его плотность оказалась равной  $\rho = 500$  г/л? Расчёт провести для идеального газа.  
*Ответ:*  $p = \rho RT/M = 280$  атм.
- Какое количество тепла надо сообщить азоту при изобарическом нагревании, чтобы газ совершил работу  $A = 2,0$  Дж?

### Решение

В изобарном процессе количество теплоты, переданное газу при изменении его температуры на  $\Delta T$ , равно  $Q = C_p \Delta T$ , где  $C_p$  — теплоёмкость при постоянном давлении. Запишем теперь первое начало термодинамики:

$$\delta Q = dU + \delta A,$$

где  $\delta A$  — работа газа. Поскольку процесс вполне определён, а именно  $p = \text{const}$ , первое начало можно записать для полного количества теплоты, переданного в процессе:

$$Q = \Delta U + A = C_V \Delta T + A = C_V \frac{Q}{C_p} + A = \frac{Q}{\gamma} + A.$$

Отсюда

находим

Q.

*Ответ:*  $Q = A\gamma/(\gamma - 1) = 7$  Дж.

14. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на  $\Delta T = 72$  К, сообщив ему количество тепла  $Q = 1,60$  кДж. Найти приращение его внутренней энергии.

*Ответ:*  $\Delta U = Q - R\Delta T = 1,00$  кДж.

15. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на  $\Delta T = 72$  К, сообщив ему количество тепла  $Q = 1,60$  кДж. Найти отношение теплоёмкостей  $\gamma$ .

*Ответ:*  $\gamma = Q/(Q - R\Delta T) = 1,6$ .

Код и наименование компетенции:

ОПК-2.2

Обработывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов

Период окончания формирования компетенции: 4 семестр

Перечень дисциплин (модулей), практик, участвующих в формировании компетенции:

Дисциплины (модули) (блок 1):

Б1.О.19 Молекулярная физика (2 семестр)

**Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:**

1) тестовые задания (жирным шрифтом выделен правильный ответ):

1. Укажите размерность постоянной Авогадро.  
**Ответ: а)** моль<sup>-1</sup>, б) моль, в) является безразмерной величиной.
2. Укажите единицу измерения теплоёмкости в СИ.  
**Ответ: а)** Дж/К, б) Дж/моль, в) Дж/К.
3. Укажите единицу измерения молярной теплоёмкости в СИ.  
**Ответ: а)** Дж/(моль·К), б) Дж/(кг·К), в) Дж/К.
4. Укажите единицу измерения удельной энтропии в СИ.  
**Ответ: а)** Дж/моль·К, б) Н/м·К, **в)** Дж/(К·кг).
5. Чему равна температура тройной точки воды?  
**Ответ: а)** 0,01° С; б) 0° С; в) 300 К; г) 100° С.
6. При изотермическом расширении идеального газа его температура:  
**Ответ: а)** не меняется; б) уменьшается; в) увеличивается.
7. Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа определяется:  
**Ответ: а)** среднеквадратичной скоростью молекулы газа; б) средней скоростью молекулы газа; в) наивероятнейшей скоростью молекулы газа.
8. Первое начало термодинамики утверждает невозможность существования:  
**Ответ: а)** вечного двигателя первого рода; б) вечного двигателя второго рода; в) любого вечного двигателя.
9. Что объясняет закон Дюлонга и Пти?  
**Ответ: а)** теплоёмкость твёрдых тел, б) теплоёмкость газов, в) коэффициент поверхностного натяжения.
10. Где используют эффект Джоуля-Томсона?  
**Ответ: а)** в холодильных установках, б) в нагревательных элементах, в) в насосах.
11. Где используется явление обратного осмоса?  
**Ответ: а)** в опреснительных установках, б) в холодильных установках, в) калориметрах.
12. В состоянии высокого вакуума средняя длина свободного пробега молекул:  
**Ответ: а)** больше размеров сосуда; б) сравнима с размерами сосуда; **в)** много меньше размеров сосуда.
13. Коэффициент поверхностного натяжения в критической точке:  
**Ответ: а)** максимален; **б)** равен нулю; в) меняет знак.
14. Согласно молекулярно-кинетической теории, на одну степень свободы молекулы идеального газа приходится энергия, равная  
**Ответ: а)**  $kT/2$ ; б)  $m_0v^2/2$ ; в)  $kT$ .
15. От чего зависит внутренняя энергия идеального газа?  
**Ответ: а)** от давления и температуры, **б)** от температуры, в) от объёма.

2) расчетные задачи:

1. Оценить значение плотности воздуха при 0° С и давлении 2 атм.  
**Ответ: 2,6 кг/м<sup>3</sup>.**

2. Нагревательный элемент мощностью 0,5 кВт помещён в сосуд с идеальным газом температурой  $T=100^\circ\text{C}$ . Какую работу совершит газ при изотермическом расширении при  $100^\circ\text{C}$ , если нагреватель работал в течении 12 минут?  
*Ответ:* 0,36 МДж.
3. Оценить максимальную массу воды, которую можно довести до кипения в результате работы нагревателя мощностью 1 кВт в течении трёх минут. Давление атмосферное, начальная температура воды  $20^\circ\text{C}$ .  
*Ответ:* 0,54 кг.
4. Определить высоту поднятия воды в круглом стеклянном капилляре диаметром 1,2 мм. Коэффициент поверхностного натяжения воды принять равным 70 мН/м, смачивание полное.  
*Ответ:* 24 мм.
5. В баллоне объёмом  $V=7,5$  л при  $T=300\text{ K}$  находится смесь идеальных газов:  $\nu_1=0,10$  моль кислорода,  $\nu_2=0,20$  моль азота и  $\nu_3=0,30$  моль углекислого газа. Считая газы идеальными, найти давление смеси.  
*Ответ:*  $p=(\nu_1+\nu_2+\nu_3)RT/V=0,20$  МПа.
6. Какому давлению необходимо подвергнуть углекислый газ при  $T=300\text{ K}$ , чтобы его плотность оказалась равной  $\rho=500$  г/л? Расчёт провести для идеального газа.  
*Ответ:*  $p=\rho RT/M=280$  атм.
7. Какое количество тепла надо сообщить азоту при изобарическом нагревании, чтобы газ совершил работу  $A=2,0$  Дж?  
*Ответ:*  $Q=A\gamma/(\gamma-1)=7$  Дж.
8. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на  $\Delta T=72\text{ K}$ , сообщив ему количество тепла  $Q=1,60$  кДж. Найти приращение его внутренней энергии.  
*Ответ:*  $\Delta U=Q-R\Delta T=1,00$  кДж.
9. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на  $\Delta T=72\text{ K}$ , сообщив ему количество тепла  $Q=1,60$  кДж. Найти отношение теплоёмкостей  $\gamma$ .  
*Ответ:*  $\gamma=Q/(Q-R\Delta T)=1,6$ .
10. Вычислить  $\gamma$  для газовой смеси, состоящей из  $\nu_1=2,0$  моль кислорода и  $\nu_2=3,0$  моль углекислого газа. Газы считать идеальными.  
*Ответ:*  $\gamma=(\nu_1\gamma_1(\gamma_2-1)+\nu_2\gamma_2(\gamma_1-1))/(\nu_1(\gamma_2-1)+\nu_2(\gamma_1-1))=1,33$ .
11. Один моль кислорода, находившегося при температуре  $T_0=290\text{ K}$ , адиабатически сжали так, что его давление возросло в  $\eta=10,0$  раз. Найти температуру газа после сжатия.  
*Ответ:*  $T=T_0\eta^{1/\gamma}=560\text{ K}$ .
12. Один моль кислорода, находившегося при температуре  $T_0=290\text{ K}$ , адиабатически сжали так, что его давление возросло в  $\eta=10,0$  раз. Найти работу, которая была совершена над газом.  
*Ответ:*  $A=R T_0 (\eta^{1/\gamma}-1)/(\gamma-1)=5,6$  кДж.
13. Один моль идеального газа, отношение теплоёмкостей для которого равно  $C_p/C_v=\gamma$ , совершает процесс по закону  $p=p_0+\alpha/V$ , где  $p_0$  и  $\alpha$  — постоянные. Найти сообщенное газу тепло при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .  
*Ответ:*  $Q=p_0 R\gamma(V_2-V_1)/(\gamma-1)+R T_0 \ln(V_2/V_1)$ .
14. Один моль идеального газа с постоянной адиабаты  $\gamma$ , совершает процесс по закону  $T=T_0+\alpha V$ , где  $T_0$  и  $\alpha$  — постоянные. Найти сообщенное газу тепло при его расширении от  $V_1$  до  $V_2$ .  
*Ответ:*  $Q=\alpha R\gamma(V_2-V_1)/(\gamma-1)+R T_0 \ln(V_2/V_1)$ .
15. Вычислить показатель адиабаты  $\gamma$  для смеси, состоящей из  $\nu_1$  молей одноатомного газа и  $\nu_2$  молей двухатомного газа из жёстких молекул.  
*Ответ:*  $\gamma=(5\nu_1+7\nu_2)/(3\nu_1+5\nu_2)$ .