

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
общей физики



/ Турицев С.Ю. /

02.06.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.12.02 Молекулярная физика и основы статистической термодинамики

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 14.03.02 Ядерные физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация: Физика атомного ядра и частиц

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: 0801 кафедра общей физики
Составители программы:

Занин Игорь Евгеньевич, доцент, кандидат физико-математических наук

7. Рекомендована: Научно-методическим советом физического факультета,
протокол № 6 от 20.06.2023г.

8. Учебный год: 2023/2024

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 объеме, 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 и основы статистической термодинамики» относится к дисциплинам базовой части цикла Б1 основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению 14.03.02 «Ядерная физика и технологии». Для освоения дисциплины «Молекулярная физика и основы статистической термодинамики» 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 14.03.02 «Ядерная физика и технологии».

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 «Молекулярная физика и основы статистической термодинамики», «Электричество и магнетизм», «Волны и оптика», «Теоретическая механика», «Квантовая механика». Знания, полученные при освоении дисциплины «Молекулярная физика и основы статистической термодинамики», 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 использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	ОПК-1.1	Знает основные понятия и методы математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, теории функции комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики	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-1.2	Знает основные понятия и законы механики жидкости и газа, теплообмена; уравнений неразрывности, движения, сохранения энергии применительно к потокам; основные законы технической термодинамики	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-1.3	Знает основные понятия и законы химии, экологии	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

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	3-ий семестр
Аудиторные занятия		128		128	
в том числе:	лекции	32		32	
	практические	32		32	
	лабораторные	64		64	
Самостоятельная работа		52		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*
1. Лекции			
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.	Курс общей физики - Молекулярная физика (edu.vsu.ru)
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.	
2. Практические занятия			
2.1	Термодинамика	1. Процессы с идеальным газом. 2. Уравнение состояния идеального газа. Закон Дальтона. 3. Теплоёмкость. 4. Круговые процессы. 5. Энтропия	Курс общей физики - Молекулярная физика
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	
3. Лабораторные занятия			
3.1.	Вводное занятие.	Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ по молекулярной физике	Курс общей физики - Молекулярная физика
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-Ребиндера	
3.12	Лабораторная работа 11	Определение коэффициента объёмного расширения жидкостей	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

	Виды занятий (количество часов)
--	---------------------------------

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Основы термодинамики	10	12	16	16	54
2	Основы статистической механики	10	12	16	16	54
3	Явления переноса	6	6	16	8	36
4	Состояния вещества	2	2	16	4	24
5	Фазовые превращения	2	0	0	4	6
6	Растворы, смеси	2	0	0	4	6
	Итого:	32	32	64	52	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, *Math* 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.</i> 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.

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-Х</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 https://lib.vsu.ru
2	Электронный университет ВГУ https://edu.vsu.ru

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	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.
3	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.
4	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 (лекции на образовательных платформах, выкладывание электронных вариантов задачников, учебных пособий на личных страницах преподавателей в образовательном портале), 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 работы 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-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3,	Практические занятия 1-5..Отчёт по лабораторной работе 7,11
2	Основы статистической механики	ОПК-1,	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3,	Практические занятия 6-8. Контрольная работа 1. Коллоквиум 1.Отчёт по лабораторной работе 1-5.
3	Явления переноса	ОПК-1,	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3,	Практические занятия 9-11. Вопросы к зачёту по лабораторному практикуму. Отчёт по лабораторной работе 1-5.
4	Состояния вещества	ОПК-1,	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3,	Практические занятия 12-14.Отчёт по лабораторной работе 8-11.
5	Фазовые превращения	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3,	Практические занятия 15-16.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетен ция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
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°C до 100°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°C в пар при 100°C ; б) при превращении 30 г льда в пар при 100°C , если начальная температура льда -40°C .

Задание 4. В баллоне ёмкостью 2 дм³ содержится смесь азота N_2 и окиси азота 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°C , а давление равно 10^{-6} мм рт.ст.?

Задание 2. Вычислить среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул водорода при 0°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°C .

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

Задание 4. Найти среднюю длину свободного пробега молекул азота при температуре 290 К и давлении 10 кПа.

Вариант 3.

Задание 1. Сколько молекул находится в одном кубическом сантиметре воздуха при нормальном давлении и температуре 0°C ?

Задание 2. Вычислить среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул кислорода при 0°C .

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

Задание 4. Найти коэффициент теплопроводности воздуха при температуре 283 К и давлении $0,1$ МПа. Диаметр молекулы воздуха принять равным $0,3$ нм.

Вариант 4.

Задание 1. Сколько молекул находится в одном грамме воды?

Задание 2. Вычислить среднюю квадратичную скорость теплового движения молекул азота при 0°C .

Задание 3. В сосуде находится смесь $m_1 = 7,0$ г азота и $m_2 = 11$ г углекислого газа при температуре $T = 290$ К и давлении $P_0 = 1,0$ 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 $8,6$ мкПа·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. 10. 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 теплоёмкостей 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 – ΔL 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 для контрольно-измерительных материалов
к промежуточной аттестации (экзамен)**

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

Пример контрольно-измерительных материалов
к промежуточной аттестации (экзамен)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой общей физики

_____ (Турищев С.Ю.)

Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Дисциплина Молекулярная физика и основы статистической термодинамики

Форма обучения очная

Вид контроля экзамен

Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал №

1. Предмет и задачи термодинамики.
2. Метод циклов. Производная внутренней энергии по объёму.

Составитель _____ Занин И.Е.. _____

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-1.1

Знает основные понятия и методы математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, теории функции комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики

Период окончания формирования компетенции: 2 семестр

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

Дисциплины (модули) (блок 1):

Б1.О.12.02 Молекулярная физика и основы статистической термодинамики (2 семестр)

Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

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

1. В состоянии термодинамического равновесия температура системы
а) может меняться, **б) всюду постоянна**, в) уменьшается.
2. Каким способом можно изменить внутреннюю энергию тела?
1) Только совершением работы.
2) Только теплопередачей.
3) Совершением работы и теплопередачей.
4) Внутреннюю энергию тела изменить нельзя.
3. Первое начало термодинамики. Теплота, сообщаемая системе идет на:
1) **совершение работы против внешних сил и изменение** внутренней энергии
2) нагревание
3) охлаждение
4) перемещение системы
4. В процессе Джоуля-Томсона сохраняется
Ответ: а) энтропия, **б) энтальпия**, в) свободная энергия.
5. От чего зависит внутренняя энергия одного моля идеального газа?
Ответ: а) от давления и температуры, **б) от температуры**, в) от объёма.
6. Наивероятнейшая скорость молекул газа
Ответ: а) равна средней скорости, б) равна среднеквадратичной скорости, **в) не равна ни средней, ни среднеквадратичной скорости**
7. Барометрическая формула верна в случае
Ответ: а) постоянного объёма газа, **б) постоянной температуры** газа, в) постоянного давления
8. КПД идеальной тепловой машины зависит
1) от температуры холодильника, температуры нагревателя и рода рабочего тела
2) только от рода рабочего тела
3) только от температуры холодильника
4) **только от температуры** холодильника и температуры нагревателя
9. От чего зависит энергия газа Ван дер Ваальса?
а) только от температуры, **б) от объёма и температуры**, в) от давления.
10. Средняя длина свободного пробега молекул газа определяет
а) коэффициенты переноса, б) внутреннюю энергию газа, в) давление газа.

2) расчётные задачи:

1. Шар массой 198 г наполнен азотом и находится неподвижно в воде на глубине 73 м, где температура воды C . 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: $m_1/m_2 = (1 - a/M_2)/(a/M_1 - 1) = 0,50$, $a = mRT/(pV)$.
3. Объем моля идеального газа с показателем адиабаты γ изменяют по закону $V = \alpha/T$, где α – постоянная. Найти количество тепла, полученное газом в этом процессе, если его температура испытала приращение ΔT .
Ответ: $Q = R\Delta T (2 - \gamma)/(\gamma - 1)$.
4. Средняя квадратичная скорость молекул азота при увеличении температуры газа в 4 раза...
 1) Увеличится в 4 раза.
2) Увеличится в 2 раза.
 3) Уменьшится в 2 раза.
 4) Не изменится.
5. Какова среднеквадратическая скорость молекул азота (м/с) при температуре 7°C ? ($M=28$ г/моль, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К)
 1) 840
2) 500
 3) 720
 4) 900
6. При какой температуре (К) среднеквадратическая скорость атомов гелия будет такой же, как и среднеквадратическая скорость молекул водорода при температуре 300 К?
 1) 50
 2) 400
 3) 100
4) 600
7. Сравните средние кинетические энергии атомов гелия ($M=4$ г/моль) при температуре $T(E_1)$ и неона ($M=20$ г/моль) при температуре $2,5T(E_2)$.
 1) $E_1=2,5E_2$
2) $E_2=2,5E_1$
 3) $E_1=E_2$
 4) $E_2=5E_1$
8. Три стеклянные капиллярные трубки, открытые с обоих концов, опущены в одну и ту же смачивающую их жидкость. Диаметр первой трубки равен $0,5$ мм, второй - 1 мм и третьей - $1,5$ мм. Сопоставьте высоты подъема жидкости в этих капиллярах.
1) $h_1=2h_2=3h_3$
 2) $h_1=h_2=h_3$
 3) $h_1=4h_2=9h_3$
 4) $3h_1=2h_2=h_3$
9. Температура нагревателя реальной тепловой машины равна 427°C , температура холодильника 127°C . Тепловая машина за один цикл получает от нагревателя тепловую энергию 600 Дж и отдает холодильнику 400 Дж. Какую часть от КПД идеальной машины составляет КПД данной реальной машины?
1) 7/9
 2) 6/7
 3) 1/2
 4) 7/8
10. Найти капиллярное давление в капельках ртути диаметра $d = 1,5$ мкм ($\sigma = 487$ мН/м).
Ответ: $\Delta p = 4\sigma/d = 13$ атм.

Код и наименование компетенции:
ОПК-1.2

Знает основные понятия и законы механики жидкости и газа, теплообмена; уравнений неразрывности, движения, сохранения энергии применительно к потокам; основные законы технической термодинамики

Период окончания формирования компетенции: 2 семестр

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

Дисциплины (модули) (блок 1):

Б1.О.12.02 Молекулярная физика и основы статистической термодинамики (2 семестр)

Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

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

1. Адиабатическая система совершает круговой квазистатический процесс. При этом её энтропия
Ответ: а) растёт, б) уменьшается, **в) не меняется.**
2. Мениск ртути в стеклянном капилляре имеет форму
Ответ: **а) выпуклую**, б) вогнутую.
3. Процесс растворения сопровождается
Ответ: **а) выделением** либо поглощением теплоты, б) всегда выделением теплоты, в) всегда поглощением теплоты, г) теплота не выделяется и не поглощается.
4. От чего зависит энергия газа Ван дер Ваальса?
а) только от температуры, **б) от объёма и температуры**, в) от давления.
5. Средняя длина свободного пробега молекул газа определяет
а) коэффициенты переноса, б) внутреннюю энергию газа, в) давление газа.
7. 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.**
8. _Плавление льда сопровождается
Ответ: **а) поглощением** теплоты, б) выделением теплоты, в) теплота не выделяется и не поглощается.
9. _Какую величину можно измерить с помощью метода Клемана и Дезорма?
Ответ: **а) отношение** теплоёмкостей, б) удельную теплоёмкость, в) коэффициент теплового расширения.
10. Осуществление вечного двигателя второго рода противоречит
Ответ: **а) второму началу** термодинамики, б) первому началу термодинамики, в) закону сохранения импульса

2) расчетные задачи:

1. Средняя квадратичная скорость молекул азота при увеличении температуры газа в 4 раза...
 - 1) Увеличится в 4 раза.
 - 2) Увеличится в 2 раза.**
 - 3) Уменьшится в 2раза.
 - 4) Не изменится.
2. При какой температуре (К) среднеквадратическая скорость атомов гелия будет такой же, как и среднеквадратическая скорость молекул водорода при температуре 300 К?

- 1) 50
- 2) 400
- 3) 100
- 4) 600**

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

Ответ: При уменьшении температуры.

4. 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 γ .

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

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

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

6. Сравните средние кинетические энергии атомов гелия ($M=4 \text{ г/моль}$) при температуре $T(E1)$ и неона ($M=20 \text{ г/моль}$) при температуре $2,5T(E2)$.

1) $E1=2,5E2$

2) $E2=2,5E1$

3) $E1=E2$

4) $E2=5E1$

7. Три стеклянные капиллярные трубки, открытые с обоих концов, опущены в одну и ту же смачивающую их жидкость. Диаметр первой трубки равен $0,5 \text{ мм}$, второй - 1 мм и третьей - $1,5 \text{ мм}$. Сопоставьте высоты подъема жидкости в этих капиллярах.

1) $h1=2h2=3h3$

2) $h1=h2=h3$

3) $h1=4h2=9h3$

4) $3h1=2h2=h3$

8. Температура нагревателя реальной тепловой машины равна 427°C , температура холодильника 127°C . Тепловая машина за один цикл получает от нагревателя тепловую энергию 600 Дж и отдает холодильнику 400 Дж . Какую часть от КПД идеальной машины составляет КПД данной реальной машины?

1) $7/9$

2) $6/7$

3) $1/2$

4) $7/8$

9. Пространство в цилиндре под поршнем, имеющее объем $V_0 = 5,0 \text{ л}$, 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 $V = 1,6 \text{ л}$. Насыщенный водяной пар считать идеальным газом.

Ответ: $m_0 \approx M p_0 (V_0 - V)/RT$, где p_0 – нормальное давление.

10. 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: $q = R(a - bT)$.

**Код и наименование компетенции:
ОПК-1.3**

Знает основные понятия и законы химии, экологии

Период окончания формирования компетенции: 2 семестр

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

Дисциплины (модули) (блок 1):

Б1.О.12.02 Молекулярная физика и основы статистической термодинамики (2 семестр)

Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

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

1. Укажите размерность постоянной Авогадро.
Ответ: а) моль⁻¹, 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. Адиабатическая система совершает круговой квазистатический процесс. При этом её энтропия
Ответ: а) растёт, б) уменьшается, **в)** не меняется.
6. Мениск ртути в стеклянном капилляре имеет форму
Ответ: а) выпуклую, б) вогнутую.
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. В политропическом процессе теплоёмкость
Ответ: а) не определена, б) уменьшается, **в)** постоянна, г) растёт.
8. Величина разности теплоёмкостей
Ответ: а) всегда положительна, б) равна нулю, в) может иметь любую величину.
9. В постоянном электрическом поле поверхность проводника
10. Процесс растворения сопровождается
Ответ: а) выделением либо поглощением теплоты, б) всегда выделением теплоты, в) всегда поглощением теплоты, г) теплота не выделяется и не поглощается.

2) расчетные задачи:

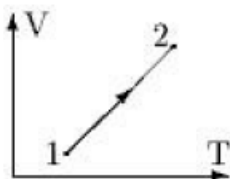
- При использовании газа, находящегося в металлическом баллоне его давление уменьшилось на 75%. Во сколько раз уменьшилась масса газа? Считать, что $T = \text{const}$.
 - 1) 4
 - 2) 1,33
 - 3) 14
 - 4) 2**
- Как изменится средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа в некотором процессе, если концентрацию молекул уменьшить в 10 раз, а температуру увеличить в 2 раза?
 - 1) уменьшится в 10 раз
 - 2) увеличится в 2 раза**
 - 3) уменьшится в 5 раз
 - 4) увеличится в 5 раз

Решение: В идеальном газе молекулы между собой не взаимодействуют и их потенциальная энергия равна нулю. Поэтому внутренняя энергия равна кинетической энергии. Изменение внутренней энергии газа массой m зависит только от температуры:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{1}{2} \nu R \Delta T = \frac{1}{2} \frac{m}{M} R \Delta T$$

$$E_2/E_1 = T_2/T_1 = 2 \quad T_1/T_1 = 2$$

- Температура нагревателя реальной тепловой машины равна 427°C , температура холодильника 127°C . Тепловая машина за один цикл получает от нагревателя тепловую энергию 600 Дж и отдает холодильнику 400 Дж. Какую часть от КПД идеальной машины составляет КПД данной реальной машины?
 - 1) 7/9**
 - 2) 6/7
 - 3) 1/2
 - 4) 7/8
- 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: $m_0 \approx M p_0 (V_0 - V)/RT$, где p_0 – нормальное давление.
- 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: $q = R(a - bT)$.
- Оцените среднеквадратическую скорость молекул водорода при температуре 80 К (м/с), $\kappa = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.
 - 1) 500, 2) 1200, **3) 1000**, 4) 800
- Идеальный газ перешел из состояния 1 в состояние 2. Сопоставьте давление газа в состояниях 1 и 2.



- возможно $P_1 > P_2$ или $P_2 > P_1$
 - $P_2 > P_1$
 - $P_1 = P_2$
 - 4) $P_1 > P_2$**
- Сосуд с газом из жестких 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 $i = 5$.

9. При какой температуре (К) среднеквадратическая скорость атомов гелия будет такой же, как и среднеквадратическая скорость молекул водорода при температуре 300 К?

1) 50

2) 400

3) 100

4) 600

10. Найти среднюю длину свободного пробега и среднее время между столкновениями молекул азота при нормальных условиях.

Ответ: $\lambda = 0,06$ мкм.