

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.О.15.02 МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили
доцент, к.ф.-м.н. Лобасова Марина Спартаковна

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

Ознакомление студентов с современной физической картиной мира на примере тепловой формы движения макроскопических тел.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

- изучение понятий и законов молекулярной физики на основе термодинамического и статистического методов;
- овладение методами решения задач молекулярной физики;
- освоение основных физических теорий, позволяющих описать тепловые явления в природе, а также пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных профессиональных задач;
- формирование у студентов основ естественнонаучной картины мира;
- ознакомление студентов с историей и логикой развития молекулярной физики и основных её открытий.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ОПК-4 Способен применять основные концепции современного естествознания в междисциплинарных исследованиях;	
ОПК-4.1 Демонстрирует знания естественнонаучных дисциплин	- Знает основные явления и законы молекулярной физики; - Знает физические величины молекулярной физики, их определение и единицы измерения.
ОПК-4.2 Использует базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	- Умеет объяснять основные наблюдаемые природные и техногенные явления с использованием положений молекулярно-кинетической теории и термодинамики; - Умеет записывать уравнения молекулярной физики, соответствующие условию задачи.

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		2
Общая трудоемкость дисциплины	4 (144)	4 (144)
Контактная работа с преподавателем:	2 (72)	2 (72)
занятия лекционного типа	1 (36)	1 (36)
практические занятия	1 (36)	1 (36)
Самостоятельная работа обучающихся	1 (36)	1 (36)
Вид промежуточной аттестации (Экзамен)	36	Экзамен

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
Раздел 1. Раздел 1. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ					
1.	Лек	Нулевое начало термодинамики	4	2	
2.	Лек	Первое начало термодинамики	4	2	
3.	Лек	Второе начало термодинамики	4	2	
4.	Лек	Теплопроводность	2	2	
5.	Пр	Измерение температуры. Идеальные газы	4	2	
6.	Пр	Тепловой баланс. Теплоёмкость. Политропические процессы	6	2	
7.	Пр	Циклы, теорема Карно. Энтропия. Термодинамические функции	6	2	
8.	Ср	Подготовка к практическим занятиям	4	2	
Раздел 2. Раздел 2. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ					
1.	Лек	Простейшие вопросы молекулярно-кинетической теории	4	2	
2.	Лек	Статистические распределения	4	2	
3.	Лек	Явления переноса в газах	2	2	
4.	Пр	Кинетическая теория вещества. Классическая теория теплоемкостей	4	2	
5.	Пр	Распределение Максвелла. Распределение Больцмана	4	2	
6.	Пр	Коэффициенты переноса	2	2	
7.	Ср	Подготовка к практическим занятиям	2,5	2	
Раздел 3. Раздел 3. СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА					
1.	Лек	Реальные газы и жидкости	4	2	
2.	Лек	Фазовые превращения	4	2	
3.	Лек	Растворы и кристаллы	4	2	
4.	Пр	Уравнения Ван-дер-Ваальса. Эффект Джоуля-Томсона. Поверхностное натяжение	6	2	
5.	Пр	Насыщенный пар	2	2	
6.	Пр	Растворы	2	2	
7.	Ср	Подготовка к практическим занятиям	2,5	2	
Раздел 4. Раздел 4. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ					
1.	Ср	Изучение теоретического курса	9	2	
2.	РГР	Выполнение индивидуальных заданий РГР	18	2	
3.	Экзам ен	Подготовка и проведение экзамена	36	2	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики: Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика [Электронный ресурс]: учебное пособие для физических специальностей вузов: [в 5-ти т.]. - Москва: Физматлит, 2005. - 543 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0098967.pdf> .

2. Гинзбург Виталий Лазаревич, Левин Лев Михайлович, Рабинович Матвей Самсонович, Сивухин Дмитрий Васильевич Сборник задач по общему курсу физики [Электронный ресурс]:. - Москва: Физматлит, 2006. - 183 с. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=2318 .

3. Иродов И. Е. Задачи по общей физике [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2002. - 416 с. – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/0063540.pdf> .

4. Москвич О. И. Общая физика. Молекулярная физика [Электронный ресурс]: курс лекций. - Красноярск: СФУ, 2011. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/U53/i-166329.pdf> .

5. Москвич О. И. Общая физика. Молекулярная физика [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие [для студентов естественно-научных и инженерно-технических специальностей университетов]. - Красноярск: СФУ, 2011. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-272930.pdf> .

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. АBBYY Lingvo 12. Электронный словарь.

2. Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian. Офисный пакет Microsoft Office.

3. Microsoft Windows 10. Операционная система.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. on-line тестирование <http://тестыпофизике.рф>

2. дидактический материал <https://yadi.sk/d/bGQkqfprvCzZ2>

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине (модулю)/ практике Б1.О.15.02 Молекулярная физика

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр ¹	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения ²	Оценочные средства ³
ОПК-4: Способен применять основные концепции современного естествознания в междисциплинарных исследованиях			
2	ОПК-4.1: Демонстрирует знания естественнонаучных дисциплин	Знает основные явления и законы молекулярной физики; Знает физические величины молекулярной физики, их определение и единицы измерения	Тестовые задания; РГР; Вопросы к экзамену
2	ОПК-4.2: Использует базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Умеет записывать уравнения молекулярной физики, соответствующие условию задачи	Тестовые задания; РГР; Вопросы к экзамену

2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Тестовые задания

1. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

1.01. ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА, ИЗМЕРЯЕМАЯ В Дж/К, – ЭТО ...

- а) работа газа
- б) внутренняя энергия
- в) теплоемкость
- г) количество теплоты
- д) температура

Эталон: в.

1.02. ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА, ИЗМЕРЯЕМАЯ В Дж, – ЭТО ...

- а) C
- б) U
- в) T
- г) p
- д) c

¹ Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

² Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

³ Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

Эталон: б.

1.03. ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ РАБОТЫ РАСШИРЕНИЯ ГАЗА – ЭТО ...

- а) VdP
- б) CdT
- в) PdV
- г) TdV
- д) PdT

Эталон: в.

1.04. УРАВНЕНИЕ ПУАССОНА, – ЭТО ...

- а) $\frac{PV}{T} = \text{const}$
- б) $PV = \nu RT$
- в) $P^{\gamma-1}T^{-\gamma} = \text{const}$
- г) $C_p - C_v = R$
- д) $PT = \nu RV$

Эталон: в.

1.05. ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА, РАВНАЯ ОТНОШЕНИЮ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА ПРИ ПОСТОЯННОМ ДАВЛЕНИИ И ПРИ ПОСТОЯННОМ ОБЪЕМЕ, – ЭТО ...

- а) универсальная газовая постоянная
- б) показатель адиабаты
- в) политропа
- г) изоэнтропа
- д) показатель изотермы

Эталон: б.

1.06. ВЫРАЖЕНИЕ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕЕ РАБОТУ ГАЗА В ИЗОБАРНОМ ПРОЦЕССЕ, – ЭТО ...

- а) $P(V_2 - V_1)$
- б) $\nu C_v(T_1 - T_2)$
- в) $RT \ln \frac{V_2}{V_1}$
- г) $\frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$
- д) 0

Эталон: а.

1.07. ФИЗИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, СОВЕРШАЮЩАЯ КРУГОВОЙ ПРОЦЕСС – ЭТО ...

- а) цикл
- б) тепловая машина
- в) рабочее тело

- г) холодильник
- д) нагреватель

Эталон: в.

1.08. ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ ЭНТРОПИИ – ЭТО ...

- а) Дж
- б) $\frac{\text{Дж}}{^\circ\text{С}}$
- в) $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
- г) $\frac{\text{К}}{\text{Дж}}$
- д) К

Эталон: в.

1.09. УРАВНЕНИЕ, ВЫРАЖАЮЩЕЕ ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ ДЛЯ РАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ, – ЭТО ...

- а) $dU = C_V dT$
- б) $\delta Q = T dS$
- в) $T dS = dU + p dV$
- г) $S dT = dU + p dV$
- д) $\delta Q = dU - \delta A$

Эталон: в.

1.10. УТВЕРЖДЕНИЕ, УСТАНОВЛИВАЮЩЕЕ НАЛИЧИЕ В ПРИРОДЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ АССИМЕТРИИ, Т.Е. ОДНОНАПРАВЛЕННОСТИ ВСЕХ ПРОИСХОДЯЩИХ В НЕЙ САМОПРОИЗВОЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ, – ЭТО ... НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

- а) нулевое
- б) первое
- в) второе
- г) третье
- д) четвертое

Эталон: в.

2. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

2.01. НАЗВАНИЕ ФОРМЫ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ, ИЗУЧАЕМОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКОЙ, – ЭТО ... ФОРМА

- а) механическая
- б) магнитная
- в) тепловая
- г) атомная
- д) ядерная

Эталон: в.

2.02. ОСНОВНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА – ЭТО ...

- а) ρ
- б) μ
- в) T
- г) V
- д) p

Эталон: в.

2.03. НАЗВАНИЕ ЗАКОНА ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ, ОПИСЫВАЮЩЕГО СОСТОЯНИЕ ГАЗА ПРИ НЕИЗМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРЕ И МАССЕ, – ЭТО ЗАКОН...

- а) Гей-Люссака
- б) Шарля
- в) Бойля – Мариотта
- г) Авогадро
- д) Менделеева – Клапейрона

Эталон: в.

2.04. НАЗВАНИЕ ПОСТУЛАТА, УТВЕРЖДАЮЩЕГО, ЧТО ЭНЕРГИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАВНА СУММЕ ЭНЕРГИЙ ЕЕ МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ЧАСТЕЙ, – ЭТО ПОСТУЛАТ ...

- а) равновесия
- б) аддитивности
- в) температуры
- г) состояния
- д) кинетики

Эталон: б.

2.05. НАЗВАНИЕ РАЗДЕЛА ФИЗИКИ, В КОТОРОМ ИЗУЧАЮТ СВОЙСТВА МАКРОСИСТЕМ, ИСХОДЯ ИЗ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СВОЙСТВ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАКРОСИСТЕМУ ЧАСТИЦ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МЕЖДУ НИМИ, ИСПОЛЬЗУЯ СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОЧЕНЬ БОЛЬШОГО ЧИСЛА ЧАСТИЦ, – ЭТО ...

- а) молекулярная физика
- б) термодинамика
- в) статистическая физика
- г) атомная физика
- д) механика жидкости и газа

Эталон: в.

2.06. НАЗВАНИЕ ХАРАКТЕРНОЙ СКОРОСТИ ТЕПЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ – ЭТО ... СКОРОСТЬ

- а) звуковая
- б) вероятная
- в) квадратичная

- г) среднеквадратичная
- д) сверхзвуковая

Эталон: г.

2.07. ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ТЕПЛООВОГО ДВИЖЕНИЯ МОЛЕКУЛ, КОТОРОЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕНОСА, – ЭТО ...

- а) $\sqrt{\frac{2RT}{\pi\mu}}$
- б) $\sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$
- в) $\sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$
- г) $\sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$
- д) $\sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$

Эталон: в.

2.08. НАЗВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕНОСА, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО ПЛОТНОСТЬ ПОТОКА ИМПУЛЬСА, – ЭТО КОЭФФИЦИЕНТ ...

- а) затухания
- б) вязкости
- в) сопротивления
- г) диффузии
- д) теплопроводности

Эталон: б.

2.09. ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА – ЭТО ...

- а) $z = n\sigma\langle v \rangle$
- б) $\langle l \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}n\sigma}$
- в) $\lambda = \frac{1}{3}c_V\rho\langle v \rangle\langle l \rangle$
- г) $\langle l \rangle = \frac{\langle v_{KB} \rangle}{z}$
- д) $\lambda = \langle v \rangle\langle l \rangle$

Эталон: б.

2.10. ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ – ЭТО ...

- а) $\lambda = \frac{1}{3}c_V\rho\langle v \rangle\langle l \rangle$
- б) $D = \frac{1}{3}\langle v \rangle\langle l \rangle$

- в) $\lambda = \frac{1}{3} c_p \rho \langle v \rangle \langle l \rangle$
- г) $\eta = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle l \rangle$
- д) $\eta = \frac{1}{3} m \langle v \rangle \langle l \rangle$
- е) $D = \frac{1}{3} \rho \langle v \rangle \langle l \rangle$

Эталон: а.

3. АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

3.01. УРАВНЕНИЕ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА – ЭТО ...

- а) $PV = RT$
- б) $\frac{PV}{T} = \text{const}$
- в) $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$
- г) $U = C_V T - \frac{a}{V}$
- д) $P_{\text{ВН}} = \frac{a}{V^2}$

Эталон: в.

3.02. ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ – ЭТО ...

- а) $3b$
- б) $\frac{a}{27b^2}$
- в) b
- г) $\frac{8a}{27Rb}$
- д) $\frac{a}{V^2}$

Эталон: г.

3.03. УДЕЛЬНЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ ФАЗ, – ЭТО ...

- а) свободная энергия Гельмгольца
- б) энтропия
- в) свободная энергия Гиббса
- г) внутренняя энергия
- д) энтальпия

Эталон: в.

3.04. ПАРА КРИВЫХ, ОТДЕЛЯЮЩИХ НА ДИАГРАММЕ СОСТОЯНИЙ ОБЛАСТЬ ЖИДКОЙ ФАЗЫ, – ЭТО КРИВЫЕ ...

- а) сублимации и испарения
- б) плавления и сублимации
- в) плавления и испарения

Эталон: в.

3.05. ЭФФЕКТ ДЖОУЛЯ – ТОМСОНА – ЭТО ...

- а) расширение газа в пустоту без теплообмена с окружающими телами
- б) изменение температуры реального газа при его адиабатном дросселировании
- в) экспериментальное подтверждение зависимости внутренней энергии реального газа от его объема
- г) зависимость внутренней энергии реального газа от его объема
- д) дросселирование газа

Эталон: б.

3.06. ФОРМУЛА ЛАПЛАСА – ЭТО ...

- а) $\cos \theta = \frac{\sigma_{13} - \sigma_{23}}{\sigma_{12}}$
- б) $\sigma_{23} > \sigma_{13} + \sigma_{12}$
- в) $\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$
- г) $h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}$
- д) $p = p_0 + \rho g h + \frac{2\sigma}{r}$

Эталон: в.

3.07. ЯВЛЕНИЕ, ПРОИСХОДЯЩЕЕ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ВОДЫ И ПАРАФИНА В ВОЗДУХЕ, – ЭТО ...

- а) смачивание
- б) несмачивание
- в) полное смачивание
- г) полное несмачивание
- д) натяжение

Эталон: г.

3.08. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ – ЭТО ...

- а) Дж
- б) Н/м²
- в) Н/м
- г) Дж/м
- д) Н

Эталон: в.

3.09. КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА – ЭТО ...

- а) твердые тела, имеющие правильное периодическое расположение составляющих их частиц
- б) средние равновесные положения, около которых частицы совершают колебания

- в) структура, для которой характерно регулярное расположение частиц с периодической повторяемостью в трех направлениях
- г) постоянство углов между соответствующими гранями кристаллов
- д) зависимость физических свойств от направления

Эталон: в.

3.10. НАЗВАНИЕ ЗАКОНА, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕГО КЛАССИЧЕСКУЮ МОЛЯРНУЮ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ТВЕРДОГО ТЕЛА, – ЭТО ЗАКОН ...

- а) Эйнштейна и Дебая
- б) Бравэ и Лауэ
- в) Дюлонга и Пти
- г) Ломоносова и Лавуазье
- д) Менделеева и Клапейрона

Эталон: в.

Методические рекомендации по проведению тестирования

Тесты представляют собой стандартизированные задания, позволяющие автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося по теоретической части курса.

Тестовые задания могут использоваться как для текущего контроля усвоения теоретического материала по отдельной лекции или теме, так и для подготовки к промежуточной аттестации по курсу.

Критерии оценки тестирования

Для оценки результатов любого типа теста предлагается следующая шкала:

Процент правильно выполненных заданий	Оценка
более 50	зачтено
менее 50	не зачтено

Пример расчётно-графического задания:

Модуль 1. Основы термодинамики

Задача 1 (10 баллов)

Теоретические сведения содержатся в лекциях 1 - 6

Пример задачи рассмотрен на практических занятиях 1 - 8

Газ сорта А количеством вещества ν , моль занимает объем V , л и находится под давлением p , МПа. Сначала газ подвергли изобарному нагреванию до температуры T , К, затем изохорно охладили так, что его температура стала равна начальной. После этого газ изобарно сжали до первоначального объема, а потом вернули в исходное состояние.

1) Постройте график цикла в pV -диаграмме. Укажите в таблице для каждого состояния газа значения давления, объема и температуры.

2) Рассчитайте (в кДж) для каждого процесса: количество теплоты; изменение внутренней энергии; работу газа.

3) Определите (в кДж) за цикл: количество теплоты, полученное системой; количество теплоты, отданное системой; работу газа.

4) Определите изменение энтропии в каждом процессе и за цикл.

5) Рассчитайте в % термический КПД данного цикла. Сравните с термическим КПД цикла Карно, рассчитанным для максимального и минимального значений температуры.

Предпоследняя цифра		
	ν	T
1	3,0	510
2	3,5	520
3	4,0	530
4	3,0	540
5	3,5	550
6	3,0	560
7	3,5	570
8	3,0	580
9	4,0	590
0	3,0	600

Последняя цифра			
	A	V	p
1	азот	10,0	0,80
2	аргон	10,5	0,85
3	воздух	11,0	0,90
4	кислород	11,5	0,95
5	углекислый газ	12,0	1,00
6	азот	12,0	1,00
7	аргон	11,5	0,95
8	воздух	11,0	0,90
9	кислород	10,5	0,85
0	углекислый газ	10,0	0,80

Контрольные вопросы по Модулю 1 (5 баллов)

1.1. Совпадают ли по величине энергии, приходящиеся на одну колебательную и одну вращательную степени свободы?

1.2. Совпадают ли по величине молярные теплоемкости O_2 и N_2 ?

1.3. Верно ли, что в изохорном процессе подведенное к системе количество теплоты равно уменьшению ее внутренней энергии?

1.4. Верно ли, что расширяющийся газ совершает положительную работу?

1.5. Может ли самопроизвольно увеличиваться внутренняя энергия газа в адиабатическом процессе?

1.6. Может ли КПД произвольного термодинамического цикла превышать КПД цикла Карно?

1.7. Возможен ли процесс, при котором теплота, взятая от нагревателя, полностью преобразуется в работу?

1.8. Верно ли, что при изотермическом расширении газ совершает работу большую, чем при адиабатном?

1.9. Может ли для обратимого кругового процесса возрасть энтропия?

1.10. Верно ли, что понятия «адиабатный процесс» и «изоэнтропийный процесс» тождественны?

Модуль 2 Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов

Задача 2 (10 баллов)

Теоретические сведения содержатся в лекциях 8 – 12

Пример задачи рассмотрен на практических занятиях 9 - 13

Для газа сорта А при температуре t , °С и давлении p , атм, используя данные о величине эффективного диаметра молекулы d из табл. 1, рассчитайте:

- 1) концентрацию молекул;
- 2) среднюю, среднеквадратичную и наиболее вероятную скорости теплового движения молекул;
- 3) среднее число соударений, испытываемых молекулой за 1 с;
- 4) среднюю длину свободного пробега молекул;
- 5) отношение средней длины свободного пробега к эффективному диаметру молекулы;
- 6) коэффициент диффузии;
- 7) плотность;
- 8) коэффициент динамической вязкости;
- 9) удельные теплоемкости при постоянном объеме и при постоянном давлении;
- 10) коэффициент теплопроводности.

Предпоследняя цифра	
	t
1	7
2	12
3	17
4	22
5	27
6	32
7	37
8	42
9	47
0	52

Последняя цифра		
	А	p
1	Азот	0,75
2	Аргон	1,00
3	Аргон	1,25
4	Водород	1,50
5	Водяной пар	0,75
6	Воздух (сухой)	1,00
7	Гелий	1,25
8	Гелий	1,50
9	Кислород	0,75
0	Углекислый газ	1,00

Таблица 1

Газокинетические и теплофизические свойства газов при нормальных условиях

Газ	μ , г/моль	d , нм	ρ , кг/м ³	λ , мВт/(мК)	η , мкПа·с	ν , м/с
He	4	0,22	0,18	141,5	18,9	965
Ar	40	0,36	1,78	16,2	22,1	319
H ₂	2	0,27	0,09	168,4	8,4	1284
N ₂	28	0,37	1,25	24,3	16,7	334
O ₂	32	0,36	1,43	24,4	19,2	214
CO ₂	44	0,33	1,98	23,2	14,0	257
Воздух (сухой)	29	0,35	1,29	24,1	17,2	332
Водяной пар	18	0,30	0,79	15,8	9,0	410

Контрольные вопросы по Модулю 2 (5 баллов)

2.1. Являются ли термодинамический и статистический методы исследования макроскопических систем качественно одинаковыми?

2.2. Существуют ли условия, при которых все идеальные газы имеют одинаковый молярный объем?

2.3. Могут ли быть одинаковыми уравнения для описания изобарного и изохорного процессов?

2.4. Верно ли, что число Лошмидта показывает число молекул содержащихся в одном моле газа при нормальных условиях.

2.5. Одинакова ли суть распределений Максвелла и Больцмана?

2.6. Можно ли определить среднюю скорость теплового движения идеального газа, если известна его среднеквадратичная скорость?

2.7. Может ли увеличиваться средняя длина свободного пробега молекул с увеличением давления?

2.8. Зависит ли средняя длина свободного пробега молекул от температуры газа?

2.9. Могут ли совпадать числовые значения коэффициентов диффузии и динамической вязкости?

2.10. Можно ли коэффициент теплопроводности λ и коэффициент диффузии D выразить в одинаковых единицах?

Методические рекомендации по выполнению расчетно-графической работы (РГР)

Расчётно-графическая работа (РГР) – вид самостоятельной работы студентов, письменное средство проверки умений применять полученные знания для решения задач по заранее определенной методике. РГР является допуском к экзамену.

РГР состоит из тематических заданий, в которые входят индивидуальные задачи (вариант исходных данных для задачи зависит от номера студенческого билета) и вопросы для ее защиты.

Критерии оценки РГР

Все баллы по каждому из элементов РГР (тематические контрольные вопросы, индивидуальные задачи) суммируются, и итоговая оценка определяется исходя из следующей шкалы:

Процент набранных баллов от максимально возможного значения	Оценка	
более 90	отлично	зачтено
от 76 до 90	хорошо	зачтено
от 60 до 75,9	удовлетворительно	зачтено
менее 60	неудовлетворительно	не зачтено

Вопросы для подготовки к экзамену

1. **Основные положения молекулярной физики и термодинамики:** Введение в молекулярную физику и термодинамику. Статистический и термодинамический методы. Термодинамические системы. Динамическое равновесие. Температура и термодинамическое равновесие.

2. **Измерение температуры:** Термоскоп и температурные точки. Эмпирические температурные шкалы. Идеально-газовая шкала температур. Виды термометров. Международная практическая температурная шкала.

3. **Идеальные газы:** Законы идеальных газов. Уравнение состояния и его следствия для бесконечно малых процессов. Макроскопические параметры.

4. **Первое начало термодинамики:** Обобщенный закон сохранения энергии. Квазистатические процессы. Макроскопическая работа. Первое начало термодинамики для системы в адиабатической оболочке. Внутренняя энергия. Количество теплоты. Математическая формулировка первого начала термодинамики. Когда можно пользоваться представлением о количестве теплоты, содержащейся в теле.

5. **Теплоемкость:** Определение теплоемкости. Теплоемкость тела, удельная и молярная теплоемкости вещества. Внутренняя энергия идеального газа. Закон Джоуля. Уравнение Роберта Майера.

6. **Политропические процессы:** Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Политропические процессы. Показатель политропы. Определение C_p/C_v методом Клемана и Дезорма. Скорость звука в газах. Уравнение Бернулли. Скорость истечения газа из отверстия.

7. **Второе начало термодинамики:** Различные формулировки основного постулата, выражающего второе начало термодинамики. Термодинамическая шкала температур. Тождественность термодинамической шкалы температур со шкалой идеального-газового термометра.

8. **Круговые процессы:** Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы. Коэффициент полезного действия круговых процессов. Цикл Карно и теорема Карно.

9. **Энтропия:** Неравенство Клаузиуса. Равенство Клаузиуса. Энтропия. Закон возрастания энтропии. Обобщение понятия энтропии на неравновесные состояния. Возрастание энтропии при диффузии газов. Парадокс Гиббса.

10. **Термодинамические функции:** Энтальпия, внутренняя энергия, свободная энергия Гельмгольца, термодинамический потенциал Гиббса. Термодинамическая теория эффекта Джоуля – Томсона. Общие замечания о методе термодинамических функций. Максимальная работа и свободная энергия. Общие критерии термодинамической устойчивости. Принцип Ле-Шателье – Брауна и устойчивость термодинамического равновесия.

11. **Теплопроводность:** Уравнение теплопроводности. Простейшие стационарные задачи теплопроводности. Нестационарные задачи. Теорема единственности. Внешняя теплопроводность (теплоотдача).

12. **Элементарная кинетическая теория:** Основное положение МКТ. Количество вещества. Модель идеального газа. Доказательства справедливости молекулярно-кинетической теории. Броуновское движение. Вращательное броуновское движение.

13. **Основное уравнение молекулярно-кинетической теории:** Давление газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Скорости теплового движения газовых молекул. Молекулярно-кинетический смысл температуры. Равномерное распределение кинетической энергии теплового движения по поступательным степеням свободы. Равномерное распределение кинетической энергии по степеням свободы.

14. **Классическая теория теплоемкости веществ:** Классическая теория теплоемкости идеальных газов. Адиабатическое нагревание и охлаждение газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории. Классическая теория теплоемкости твердых тел (кристаллов). Недостаточность классической теории теплоемкостей.

15. **Распределение Максвелла:** Элементарные сведения из теории вероятностей. Распределение скоростей молекул газа. Постановка задачи. Закон распределения скоростей Максвелла. Распределение молекул по абсолютным значениям скоростей. Средние скорости молекул. Среднее число молекул, сталкивающихся со стенкой сосуда. Опытная проверка закона распределения скоростей Максвелла.

16. **Распределение Больцмана:** Закон распределения Больцмана. Работы Перрена по определению постоянной Авогадро. Энтропия и вероятность. Теорема Нернста.

17. **Явления переноса в газах:** Средняя длина свободного пробега. Эффективное сечение. Распределение молекул по длинам свободного пробега. Внутреннее трение (вязкость) и теплопроводность газов. Самодиффузия в газах. Связь коэффициента диффузии с подвижностью частиц. Термическая диффузия в газах. Явления в разреженных газах.

18. **Газ Ван-дер-Ваальса:** Молекулярные силы и отступления от законов идеальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса. Эффект Джоуля – Томсона для газа Ван-дер-Ваальса. Методы получения низких температур и сжижения газов.

19. **Изотермы реальных газов:** Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Изотермы реального газа. Правило Максвелла. Свойства вещества в критическом состоянии.

20. **Поверхностное натяжение:** Поверхностное натяжение и некоторые эффекты, с ним связанные. Термодинамика поверхностного натяжения. Краевые углы. Смачивание и несмачивание. Разность давлений по разные стороны изогнутой поверхности жидкости. Формула Лапласа.

21. **Фазовые равновесия:** Условие равновесия фаз химически однородного вещества. Тройные точки. Диаграммы состояния. Метастабильные состояния.

22. **Фазовые превращения:** Фазы и фазовые превращения. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Испарение и конденсация. Плавление и кристаллизация.

ция. Кипение и перегревание жидкостей. Фазовые превращения второго рода.

23. **Насыщенный пар:** Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Теплоемкость насыщенного пара. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности жидкости.

24. **Растворы:** Общие сведения о растворах. Растворимость тел. Осмос и осмотическое давление. Закон Рауля. Повышение точки кипения и понижение точки замерзания раствора. Правило фаз. Диаграммы состояния бинарных смесей.

25. **Симметрия кристаллов:** Симметрия тел. Кристаллические решетки. Кристаллические системы.

26. **Строение кристаллов:** Пространственные группы и кристаллические классы кристаллов. Миллеровские индексы и индексы направлений. Решетки химических элементов и соединений. Дефекты в кристаллах.

В экзаменационные билеты входят два вопроса из указанного выше списка и одна задача, примерно соответствующая содержанию элементов расчетного задания.

Пример экзаменационного билета

1. Измерение температуры.
2. Поверхностное натяжение.
3. Определите среднюю скорость молекул кислорода при нормальных условиях.

Методические рекомендации по проведению экзамена

Студенты, не выполнившие предусмотренные учебным планом по дисциплине индивидуальные задания (расчетно-графические работы), к сдаче экзамена не допускаются.

Аттестация в конце семестра предусмотрена в виде экзамена. Рекомендуется проведение экзамена в устной форме: решение практической задачи и ответ по теоретическим вопросам.

Критерии оценивания экзамена

Оценки «отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала. Выполнено от 85 до 100 % задания, задача решена без ошибок и замечаний.

Оценки «хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в

программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности. Выполнено от 70 до 84 % задания. В решении задачи имеются незначительные неточности, ответ правильный.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя. Выполнено от 50 до 69 % задания. В решении задачи имеются существенные неточности.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Выполнено менее 50 % задания. Задача решена неправильно или решение отсутствует.

Разработчик



М.С.Лобасова