

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**КАФЕДРА ФИЗИКА**

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

Руководитель образовательной программы

Декан физико-математического факультета

\_\_\_\_\_/ Нальгиева М. А.  
от « 12 » 03 2025 г.

\_\_\_\_\_/ Кульбужев Б. С.  
от « 14 » 03 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Б.1.О.09.02.»Молекулярная физика**

*(индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины (модуля))*

**Направление подготовки (бакалавриат)**

**03.03.02 Физика**

*(код, наименование)*

**Направленность**

**Физика**

*(наименование профиля, магистерской программы, специализации)*

**Квалификация выпускника – бакалавр**

**Форма обучения очная**

*(очная, заочная, очно-заочная)*

**Магас, 2025г.**

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины Б3.Б.2 "Молекулярная физика" являются знакомство с физическими явлениями, обусловленными атомарно-корпускулярным строением вещества, формирование у студентов представлений об понятиях, законах и методах молекулярной физики, навыков простейших практических расчетов, а также экспериментальной работы в лаборатории. В курсе излагаются основные закономерности тепловых явлений, рассматриваются термодинамический и статистический методы описания, формулируются законы термодинамики и статистические постулаты, изучаются физические свойства систем атомов и молекул на основе модельных представлений, даются понятия физики пограничных явлений и фазовых переходов, физики твердого тела.

Код и наименование профессионального стандарта	Обобщенные трудовые функции			Трудовые функции		
	Код	Наименование	Уровень квалификации	Наименование	Код	Уровень (подуровень) квалификации
01.001 Педагог (педагогическая деятельность в дошкольном, начальном общем, основном общем, среднем общем образовании) (воспитатель, учитель)	А	Педагогическая деятельность по проектированию и реализации образовательного процесса образовательных организациях дошкольного, начального общего, основного общего, среднего общего образования	6	Общепедагогическая функция. Обучение	А/01.6	6
				Воспитательная деятельность	А/02.6	6
				Развивающая деятельность	А/03.6	6
	В	Педагогическая деятельность по проектированию и реализации основных общеобразовательных программ	6	Педагогическая деятельность по реализации программ основного и среднего общего образования	В/03.6	6

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1. Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.03.02 Физика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 1 курсе, 2 семестр.

Дисциплина Б1.О.09.02 "Молекулярная физика" входит в профессиональный цикл бакалавров по направлению 03.03.02 "Физика" и является обязательной для изучения. Изучение данной дисциплины базируется на подготовке по физике и математике в рамках Государственного стандарта общего образования.

**Связь дисциплины «Молекулярная физика» с предыдущими дисциплинами и сроки их изучения**

Код дисциплины	Дисциплины, следующие за дисциплиной	Семестр
Б1.О.09.01	Механика	1
Б1.О.06.01	Математический анализ	2

Связь дисциплины «Молекулярная физика» с последующими дисциплинами и сроки их изучения

Код дисциплины	Дисциплины, следующие за дисциплиной	Семестр
Б1.О.09.03	Электричество и магнетизм	3
Б1.О.09.04	Оптика	4
Б1.О.09.05	Атомная физика	5
Б1.О.09.06	Физика атомного ядра и элементарных частиц	6

Связь дисциплины «Молекулярная физика» со смежными дисциплинами

Код дисциплины	Дисциплины, смежные с дисциплиной «Молекулярная физика»	Семестр
Б1.В.ДВ.03.01	Введение физический практикум	2

### 3. Результаты освоения дисциплины (модуля) «Молекулярная физика»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикатор достижения компетенции (закрепленный за дисциплиной)	В результате освоения дисциплины обучающийся должен:
УК-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1. Определяет круг задач в рамках поставленной цели, определяет связи между ними;	<b>Знать</b> теоретические основы, основные понятия, законы и модели основных разделов физики; <b>Уметь</b> понимать, излагать и критически анализировать физическую информацию. Пользоваться теоретическими основами, законами и моделями физики; <b>Владеть</b> физическими и математическими методами обработки и анализа информации в области основных разделов физики.
		УК-2.2. Предлагает способы решения поставленных задач и ожидаемые результаты; оценивает предложенные способы с точки зрения соответствия цели проекта;	
		УК-2.3. Планирует реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений, действующих правовых норм;	
ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физико-	ОПК-1.1. Обладает базовыми знаниями в области физико-математических наук,	Знает физические основы механики, молекулярной физики, природу

	<p>математических и естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.</p>	<p>необходимыми для решения профессиональных задач.</p> <p>ОПК-1.2. Аргументированно применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.</p> <p>ОПК-1.3. Обладает навыками теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности, решения профессиональных задач в области физики и смежных с ней естественнонаучных дисциплин.</p>	<p>колебаний и волн, основы термодинамики, электричества и магнетизма, оптики, основы атомной и ядерной физики, понимает широту и ограниченность применения физики исследованию процессов и явлений в природе и обществе.</p> <p>Умеет использовать теоретические знания при объяснении результатов экспериментов, применять знания в области физики для освоения общепрофессиональных дисциплин и решения профессиональных задач, оценивает достоверность полученного решения задачи.</p> <p>Владеет навыками физических исследований, способен передавать результат проведенных исследований в виде конкретных рекомендаций в терминах предметной области знания.</p>
ПК -3	<p>Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований</p>	<p>ПК-3.1. Понимает физические основы методов и средства преобразования информации, обмена информацией на расстоянии с помощью радиоэлектронных средств и технологий.</p> <p>ПК-3.2. Владеет методологией математического моделирования физических процессов и объектов на базе как стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ.</p> <p>ПК-3.3. Применяет цифровую технику при обработке данных при соблюдении основных требований информационной безопасности.</p>	<p>Владеть: методами нахождения, отбора и объединения различных методов проведения физических исследований.</p> <p>Уметь: осмысленно выбирать научный метод проведения физических исследований.</p> <p>Знать: способы определения видов и типов профессиональных задач, а также методы их решения при проведении физических исследований</p>

		ПК-3.4. Применяет современные информационные средства при подготовке данных при составлении обзоров, отчетов и научных публикаций.	
--	--	--	--

#### 4. Структура и содержание дисциплины (модуля) «Молекулярная физика»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единицы, 324 часа.

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины (модуля)	семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в									Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)						
			Контактная работа					Самостоятель ная работа				Форма промежуточной аттестации (по семестрам)						
			Всего	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Др. виды контакт. работы	Всего	Курсовая работа(проект)	Подготовка к экзамену	Другие виды	Собеседование	Коллоквиум	Проверка тестов	Проверка контрол.н. работ	Проверка реферата	Проверка эссе и иных	курсовая работа (проект) др.
Раздел 1. Введение. Молекулярно-кинетическая теория.																		
1	Основные понятия, молекулярной физики и термодинамики.	2	15	2	4	4	-	3	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-
2.	Статистический и термодинамический методы исследования и описания молекулярных систем.	2	17	4	4	4	-	3	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-
3	Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа	2	19	2	6	6	-	3	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-
4	Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов и следствия из него. температуры. Средняя энергия молекулы	2	19	4	6	4	-	3	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-
Раздел 2. Классическая и квантовая статистика																		
5	Основные понятия классической и квантовой статистики..	2	17	4	4	4	-	3	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-
Раздел 3. Явления переноса в газах																		

<b>6</b>	. Вязкость газов (внутреннее трение). Закон Стокса	2	17	4	4	4	-	3	-	2	1	-	-	-	-	-	-
<b>7</b>	Теплопроводность газов. Диффузия газов.	2	17	4	4	4	-	3	-	2	1	-	-	-	-	-	-
<b>Раздел 4. Основы термодинамики</b>																	
<b>8</b>	Состояние термодинамической системы. Термодинамический процесс	2	17	4	4	4		3	-	2	1	-	-	-	-	-	-
<b>9</b>	Первое начало термодинамики..	2	24	4	6	6		3	-	2	1	-	-	-	-	-	-
<b>10</b>	Термодинамические формулировки второго начала термодинамики.	2	19	4	4	4		3	-	2	1	-	-	-	-	-	-
<b>11</b>	Применение первого начала термодинамики к изопроцессам..	2	26	4	6	6		3	-	2	1	-	-	-	-	-	-
<b>12</b>	Термодинамические функции.	2	22	4	4	4		3	-	2	1	-	-	-	-	-	-
<b>Раздел 5. Реальные газы</b>																	
<b>13</b>	Уравнение Ван-дер-Ваальса.	2	8	4	4	4		2	-	1	1	-	-	-	-	-	-
<b>14</b>	Изотермы Ван-дер-Ваальса и реальных газов.	2		4	2	2		1	-	1		-	-	-	-	-	-
<b>15</b>	Эффект Джоуля-Томсона. Получение низких температур.			4	2	2		1	-	1		-	-	-	-	-	-
<b>16</b>	Ближний порядок. Структура и свойства реальных жидкостей.			4	2	2		12	-	1		-	-	-	-	-	-
<b>17</b>	Явления переноса. Теплопроводность в газах. Диффузия в газах.	2		4	2	4		2	-	1	1	-	-	-	-	-	-
<b>18</b>	Агрегатные состояния.. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.	2		4	4	4		1	-	1	1	-	-	-	-	-	-
<b>Раздел 6. Поверхностные и капиллярные явления</b>																	
<b>19</b>	Силы поверхностного натяжения. Поверхностные и капиллярные явления в природе	2		4	4	4		3	-	2	1	-	-	-	-	-	-
<b>Раздел 7. Твердые тела</b>																	
<b>20</b>	Аморфные и кристаллические тела.	2		4	2	2		5	-	2	1	-	-	-	-	-	-
<b>Раздел 8. Жидкие кристаллы</b>																	

21	Классификация и типы жидких кристаллов..	2		4	2	2		3	-	2	1	-	-	-	-	-	-
Раздел 9. Элементы молекулярной акустики																	
22	Использование данных о скорости и поглощении ультразвуковых волн для исследований теплофизических, упругих, структурных и релаксационных свойств	2		4	2	4		3	-	2	1	-	-	-	-	-	-
	Общая трудоемкость, в часах	2	324	84	84	84		45		27	3	Форма отчетности: экзамен					

### Содержание дисциплины.

#### Раздел 1. Основные понятия молекулярно-кинетической теории.

Основные явления, понятия, модели и разделы молекулярной физики и термодинамики.  
Задачи молекулярной физики и термодинамики

Основные положения и понятия молекулярно-кинетической теории. Статистический и термодинамический методы исследования и описания молекулярных систем. Внутренние и внешние термодинамические параметры.

Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона). Изопроцессы. Газовые законы Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля, Дальтона математической

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов и следствия из него. Температура и ее измерение. Абсолютная температура. Молекулярно-кинетический смысл статистики. Распределение Максвелла. Барометрическая формула.

Распределение Больцмана.

#### Раздел 2. Классическая и квантовая статистика

Основные понятия классической и квантовой статистики. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Распределение Максвелла-Больцмана. Наиболее вероятная, среднеарифметическая и среднеквадратичная скорости молекул газа.

#### Раздел 3. Явления переноса в газах

Эффективный диаметр молекулы. Число столкновений и средняя длина свободного пробега молекулы. Вязкость газов (внутреннее трение). Закон Стокса

Теплопроводность газов. Диффузия газов. Связь явлений и коэффициентов переноса.

#### Раздел 4. Основы термодинамики

Состояние термодинамической системы. Термодинамический процесс. Работа, совершаемая газом, при изменении объема. Число степеней свободы. Закон равнораспределения энергии по степеням свободы.. Внутренняя энергия идеального газа

Первое начало термодинамики. Теплосодержание. Тепловые машины. Цикл Карно

Термодинамические формулировки второго начала термодинамики. Приведенное количество теплоты. Энтропия. Границы применимости второго начала термодинамики

Термодинамическое описание процессов в идеальных газах. Применение первого начала термодинамики к изопроцессам..

Термодинамические функции. Общие критерии термодинамической устойчивости. Принцип Ле-Шателье-Брауна.

#### Раздел 5. Реальные газы

Уравнение Ван-дер-Ваальса. Экспериментальные и теоретические изотермы. Критическое и метастабильные состояния вещества

Явления переноса. Среднее число столкновений молекул в единицу времени. Средняя длина свободного пробега молекул. Теплопроводность в газах. Диффузия в газах.

Агрегатные состояния. Потенциальная энергия молекул. Фазовые переходы 1-го и 2-го родов. Кривые фазового равновесия. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса

#### **Раздел 6. Поверхностные и капиллярные явления**

Силы поверхностного натяжения. Энергия молекул поверхностного слоя. Коэффициент поверхностного натяжения. Смачивающие и несмачивающие жидкости. Поверхностные и капиллярные явления в природе

#### **Раздел 7. Твердые тела**

Аморфные и кристаллические тела. Моно- и поликристаллы. Основные понятия кристаллографии. Классификация и типы кристаллических твердых тел

#### **Раздел 8. Жидкие кристаллы**

Открытие жидких кристаллов. Классификация и типы жидких кристаллов. Применение жидких кристаллов в технике

#### **Раздел 9. Элементы молекулярной акустики**

Использование данных о скорости и поглощении ультразвуковых волн для исследований теплофизических, упругих, структурных и релаксационных свойств

### **ПРОГРАММА ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ «МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА»**

Изучение молекулярной физики невозможно без лабораторных занятий. Поэтому физический практикум является важной составной частью в университетской подготовки специалистов – физиков высокой квалификации. Главные задачи практикума следующие:

1. Научить студентов применять теоретический материал программного курса к анализу конкретных физических ситуаций; экспериментально изучать основные физические закономерности, определять точность и степень достоверности результатов эксперимента.

2. Ознакомить с основными экспериментальными методами получения из опыта физической информации. Научить измерять важнейшие физические константы и величины, ознакомить с последними достижениями современной физики в точности их определения.

3. Ознакомить с современными приборами и другой измерительной аппаратурой, с принципами их действия, дать общие сведения об областях их применения, сложности проведения измерений, точности полученных величин и источниках вероятных ошибок.

4. Дать практические навыки в обращении с измерительной аппаратурой и экспериментальными установками. Ознакомить с правилами техники безопасности при проведении экспериментальных исследований.

5. Научить применять современные методы статистической обработки экспериментальных результатов, в том числе с применением ЭВМ.

В соответствии с этими задачами формируются лабораторные работы и описания к ним.

В каждой лабораторной работе должна быть сформулирована цель работы. Это позволит студенту четко уяснить, что является главным, на чем надо акцентировать внимание. Описания лабораторных работ, как правило, включает в себя также теорию вопроса, теорию применяемого метода измерений, описание экспериментальной установки, задания контрольные вопросы и рекомендуемую литературу.

В общем физическом практикуме ИнГТУ студенты первого курса, во втором семестре выполняют по разделу «Молекулярная физика» 12 лабораторных работ, причем 9 работ из них являются обязательными для всех студентов, а остальные распределяются преподавателем по своему усмотрению с учетом пожеланий студентов.

#### **Перечень лабораторных работ по разделу «Молекулярная физика».**

№	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (часы)
---	---------------------------------	------------------------



1	2	4
I	Вводное занятие	8
	1. Изучение постоянной Больцмана.	8
	2. Определение отношения теплоемкостей газов.	8
	3. Определение молекулярной газовой постоянной методом изохорического нагревания.	8
	4. Определение вязкости и основных характеристик молекулярного движения газов.	8
	5. Определение вязкости жидкости методом Стокса.	8
II	6. Определение поверхностного натяжения методом отрыва капель.	8
	7. Исследования зависимости поверхностного натяжения жидкости от температуры.	8
	8. Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца.	8
	9. Изучение изменения энтропии в неизолированной системе.	8
	10. Изучение теплового расширения твердых тел.	8
	ИТОГО.	84

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации дисциплины «Молекулярная физика» используются следующие виды учебных занятий: консультации, практические занятия, рефераты, самостоятельные работы.

– консультация преподавателя;

–самостоятельная работа студентов, которая включает освоение теоретического материала, подготовку к практическим занятиям.

При реализации программы используются следующие образовательные технологии:

– внеаудиторная работа в форме обязательных консультаций и индивидуальных занятий со студентами (помощь в понимании тех или иных методов исследования материалов, в подготовке рефератов и тезисов для студенческих конференций и т.д.).

Для получения глубоких и прочных знаний, твердых навыков и умений, необходима систематическая самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа нужна как для проработки лекционного (теоретического) материала, так и для подготовки к лабораторным работам и практическим занятиям.

Основательная самостоятельная работа необходима и при подготовке к контрольным мероприятиям.

На лекциях особое внимание следует уделять на основные понятия и основные физические закономерности. Дополнить конспект лекций, выделить главное студент должен самостоятельно, пользуясь учебными пособиями, размещенными на сайте кафедры. Индивидуальный сайт кафедры крайне необходим для успешного выполнения рабочей программы и учебного плана, в целом.

По всему лекционному материалу подготовлен конспект лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе PowerPoint, а также с использованием интерактивных досок.

**Практические занятия** способствуют активному усвоению теоретического материала, на этих занятиях студенты учатся применять физические законы и закономерности для решения конкретных практических задач и грамотную обработку их результатов, включая Итоговим контрольным мероприятием (аттестацией) является зачет.

Вопросы к зачету являются конкретными по соответствующим темам и доступными через сайт кафедры. Для успешного результата на зачете студентам рекомендуется ответы на них продумывать, готовить заранее и систематически по мере изучения соответствующих тем.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

### Перечень заданий /вопросов

#### Первое начало термодинамики и его применение к идеальному газу

**Занятие 1.** Практическое занятие по теме «Уравнение состояния идеального газа. I начало термодинамики»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Имеется газ, который рассматривается как идеальный. По заданным параметрам требуется определить тот или иной неизвестный параметр.

*Для решения используются:* уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева – Клапейрона)

Определение неизвестных параметров в смеси не реагирующих между собой идеальных газов. *Для решения используются:* 1) уравнение состояния идеального газа (Клапейрона – Менделеева); 2) основные уравнения кинетической теории газов; 3) закон Дальтона.

Определение термодинамических коэффициентов для идеального газа по заданным параметрам. *Для решения используется:* взаимосвязь между изменением параметров

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Какой газ называют «идеальным»? При каких условиях и допущениях газ можно рассматривать как идеальный? Приведите примеры реального газа, по своим свойствам близкого к идеальному.
2. Какой термодинамический смысл имеют параметры  $p$ ,  $T$  и  $V$ ?
3. Что такое состояние термодинамического равновесия?
4. Какими параметрами определяется термодинамическое состояние идеального газа? Каким законом связаны эти параметры?
5. Что выражает уравнение состояния?
6. Запишите уравнение состояния для произвольной массы газа.
7. В чем смысл закона Дальтона? При каких условиях он выполняется?
8. Можно ли использовать закон Дальтона при большой плотности газовой смеси?
9. Можно ли использовать закон Дальтона для смеси кислорода и водорода?
10. При постоянной температуре концентрация молекул газа уменьшилась в два раза. Какие параметры при этом изменялись?
11. Какова связь между давлением и концентрацией молекул?
12. Как меняется концентрация газа для трех процессов: изотермического, изохорического, изобарического?
13. Как записываются полные дифференциалы любого термодинамического параметра?
14. Как найти связь между термодинамическими коэффициентами для изобарического процесса?

**Занятие 2.** Практическое занятие по теме «Уравнение состояния идеального газа. I начало термодинамики»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Графическое представление процессов (переход газа), заданных аналитически, в различных переменных

*Для решения используются:* 1) аналитическое уравнение перехода данного квазистатического процесса; 2) уравнение Менделеева – Клапейрона.

Определение теплоемкостей идеального газа (или смеси) в процессах  $p = \text{const}$  и  $V = \text{const}$  по заданной массе, молекулярному весу газа и числу степеней свободы. *Обратная задача.* Определение некоторых характеристик газа по заданному соотношению теплоемкостей  $C_p$  и  $C_v$  для данного газа.

*Для решения используются:* 1) формулы для определения молярной теплоемкости  $C_p$

и  $C_v$  через число степеней свободы  $i$ ; 2) определение «удельной» теплоемкости газа; 3) Связь между «молярной» и «удельной» теплоемкостями газа; 4) Уравнение Р. Майера; 5) определение «количества теплоты»

Определение теплоемкости идеального газа по заданному уравнению процесса перехода. *Обратная задача.* Определение характера процесса по заданному значению теплоемкости. *Для решения используются:* 1) уравнение состояния идеального газа (Клапейрона – Менделеева); 2) уравнение данного процесса; 3) первое начало термодинамики; 4) определение теплоемкости газа.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Как называется изменение состояния любой термодинамической системы, в том числе и идеального газа, при постоянной температуре, постоянном давлении и постоянном объеме? Как эти изменения состояния для идеального газа можно графически представить на  $pV$ –,  $VT$ –,  $pT$ – диаграммах?
2. Какое состояние называется «термодинамическим равновесием» системы?
3. Какой процесс называется «квазистатическим»? Почему только квазистатический процесс может быть изображен графически?
4. Какие процессы называются «обратимыми», «необратимыми»? Обратимыми или необратимыми являются процессы, происходящие в природе? При каких условиях необратимые процессы можно приближенно считать обратимыми?
5. В чем состоит связь между квазистатичностью и обратимости?
6. Как графически в координатах  $pV$  изобразить различные процессы изменения состояния газа: изохорический, изобарический, изотермический, адиабатический? Как графически изобразить эти процессы в других переменных, например, в  $pT$ ,  $VT$ ,  $UT$  (где  $U$  – внутренняя энергия идеального газа)?
7. Дайте определение «теплоемкости» газа, «удельной» теплоемкости, «молярной» теплоемкости.
8. Покажите, что теплоемкость идеального газа зависит от процесса изменения его состояния.
9. На какую физическую величину отличается молярная теплоемкость при постоянном давлении от молярной теплоемкости при постоянном объеме?
10. Как связаны молярная и удельная теплоемкость данного газа между собой?
11. В каких случаях для определения теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  можно пользоваться представлениями классической теории теплоемкости?
12. Каковы границы применения формул для определения  $C_p$  и  $C_v$  в классической теории теплоемкости?
13. Изменится ли отношение  $C_p/C_v = \gamma$  данного газа, если часть его молекул диссоциирует на атомы?
14. В каких пределах лежат значения теплоемкости идеальных газов?

**Занятие 3.** Практическое занятие по теме «Уравнение состояния идеального газа. I начало термодинамики» Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения:

Определение изменения внутренней энергии идеального газа в заданном процессе. *Для решения используются:* 1) определение  $C_v$  идеального газа; 2) зависимость внутренней энергии идеального газа от температуры  $U = f(T)$ ; 3) уравнение Клапейрона – Менделеева (для определения изменения температуры)

Определение работы расширения (сжатия) газа по заданному процессу перехода. *Для решения используются:* 1) понятие элементарной «работы» расширения газа; 2) уравнение процесса перехода газа из состояния «1» в состояние «2»; 3) уравнение состояния идеального газа.

Определение количества тепла, полученного газом (или отнятого у него), в заданном процессе перехода. *Для решения используются:* 1) уравнение процессов перехода; 2) все положения и закономерности, используемые для решения задач типов 1 и 2.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Дайте определение «внутренней энергии» идеального газа. Из каких факторов она складывается? Функцией, каких параметров состояния является внутренняя энергия идеального газа?
2. Что означает, что изменение количества теплоты не является полным дифференциалом?
3. Как определяется «элементарная» работа в термодинамике? От каких параметров она зависит? Каково аналитическое выражение этой функциональной зависимости для различных термодинамических процессов (изохорического, изобарического, изотермического и др.)? Как понимать, что «работа» газа (над газом) не является полным дифференциалом?
4. Какие процессы называются политропическими?
5. В каких пределах может изменяться теплоемкость идеального газа для политропических процессов? Напишите общее выражение теплоемкости для политропы с показателем « $n$ ».
6. Какое соотношение существует между  $C_p$  и  $C_v$ ? Каков физический смысл этих теплоемкостей?
7. Что такое «число степеней свободы» газа? Чему оно равно для одноатомного газа, для двухатомного, для многоатомного?
8. Как выражаются молярные теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  для идеального газа с точки зрения классической теории теплоемкости? Границы применимости этих формул.
9. Для каких газов теплоемкости, определенные по формулам  $C_v = (i/2)R$  и  $C_p = ((i+2)/2)R$ , не дают достаточно хорошего совпадения с опытом? Как это можно объяснить?
10. Можно ли в общем случае сказать, что теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  не зависят от температуры, и если они зависят от температуры, то чем объясняется эта зависимость и когда она проявляется?
11. Укажите общий порядок расчета теплоемкости  $C$  любого политропического процесса идеального газа по заданному уравнению состояния газа.
12. При каком условии монотонная кривая, лежащая между адиабатой и изотермой и проходящая через точку их пересечения на диаграмме  $pV$ , будет политропой?
13. Можно ли подсчитать работу расширения (или сжатия) идеального газа в адиабатическом процессе, если задано число степеней свободы, начальная и конечная температуры? Какой вид имеет  $(A)Q$  через эти параметры?
14. Чему равен показатель политропы для одноатомного изохорического, изотермического и изобарического процессах?

**Занятие 4–5.** Практическое занятие по теме «Уравнение состояния идеального газа. Первое начало термодинамики»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Задачи, объединяющие все типы задач занятий 2 и 3.

*Для решения комбинируются все методы, указанные в вышеприведенных типах задач.*

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Сформулируйте и запишите первое начало термодинамики. Как выглядит этот закон для: изохорического; адиабатического; изотермического; изобарического процессов?
2. Выражением, какого общего закона является первый закон термодинамики?
3. Какие процессы изменения состояния газа характеризуются отрицательной величиной теплоемкости?
4. Известна конечная  $T_E$  и начальная  $T_A$  температуры изменения состояния газа, которое проходило по сложной ломаной линии  $ABCDE$  (рис.). Газ идеальный, двухатомный. **Достаточно ли** этих данных, чтобы подсчитать: а) работу расширения газа; б) изменение внутренней энергии; в) количество теплоты, полученной (или отданной) газом?
5. Как найти связь между температурой и давлением в адиабатическом процессе? Изобразите ее в координатах  $pT$ .
6. Можно ли и как графически сравнивать работу расширения газа от  $V_1$  до  $V_2$ , если расширение происходило один раз изотермически, второй – адиабатически и третий – изобарически?
7. Как изобразиться изотермический процесс идеального газа в координатах  $pV$  и  $UT$ , где  $U$  – внутренняя энергия идеального газа?

8. Как показать, что для одноатомных газов произведение  $pV$  равно  $2/3$  внутренней энергии, для двухатомных  $2/5$  внутренней энергии газа? Какие соотношения нужно использовать для этого?
9. Начертить график зависимости теплоемкости от показателя политропы для политропических процессов.
10. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется по закону  $p = bV^{-n}$ ,  $n < 1$ , где  $b$  – постоянная величина?

### Циклические процессы

**Занятие 6.** Практическое занятие по теме «Циклы. КПД. Энтропия. T-S диаграммы»  
Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Нахождение характеристик цикла, заданного на  $pV$ -диаграмме.

*Для решения используются:* метод решения – энергетические расчеты на основе:

- 1) уравнения состояния для рабочего тела; 2) уравнения процессов для участков цикла; 3) I начала термодинамики; работы, изменения внутренней энергии и теплоты, получаемых для участка цикла; 4) определение эффективности машины (КПД, холодильный коэффициент).
- Нахождение характеристик цикла, заданного на TV- или pT-диаграммах.

*Для решения используются условия 1-го типа*

Циклы на TS – диаграммах. Нахождение эффективности циклов.

*Для решения используются:* 1) определение энтропии, выражение получаемой рабочим телом теплоты через изменения энтропии и температуры на отрезке цикла; 2) определение эффективности цикла.

Метод циклов для нахождения термодинамических соотношений.

*Для решения используются:* 1) определение эффективности цикла; 2) сведение заданного цикла к простейшему виду при бесконечно малых изменениях параметров.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Что такое квазистатический процесс? Является ли квазистатический процесс обратимым?
2. Что такое диаграмма состояний? Какие процессы могут быть представлены на диаграммах состояний?
3. В чем состоит содержание I начала термодинамики? Как математически записывается I начало термодинамики?
4. При каких процессах внутренняя энергия системы постоянна? В каких случаях изменение энергии системы равно внешней работе, совершаемой системой? Каково будет изменение внутренней энергии, если в качестве системы рассматривать идеальный газ?
5. Как записывается работа, совершаемая идеальным газом, при адиабатическом и изотермическом процессах?
6. Каков физический смысл площади, ограниченной кривой цикла, на диаграммах состояния в различных переменных?
7. Прямой и обратный цикл. Тепловой двигатель и холодильная машина.
8. Как по заданной диаграмме цикла определить, является ли машина тепловой или холодильной?
9. Какие параметры должны быть известны, чтобы было возможно подсчитать работу на адиабатическом участке цикла?
10. Сколько параметров состояния, и какие необходимо задать, чтобы определить работу на изотермическом участке?
11. Сколько параметров и какие надо задать, чтобы определить теплоту, получаемую или отдаваемую рабочим телом, на изотермическом и на изобарическом участках цикла?
12. Коэффициент полезного действия и холодильный коэффициент.
13. Какими величинами может быть определен КПД тепловой машины?
14. Как определить холодильный коэффициент для холодильной машины?
15. Зависит ли теплота, отбираемая у нагревателя, от массы рабочего тела?
16. Зависит ли теплота, отбираемая у нагревателя, от теплоемкости рабочего тела?
17. Зависит ли работа, совершаемая рабочим телом и тепловой машины за один цикл, от массы и теплоемкости рабочего тела?

18. Что изменится, если в идеальной тепловой машине вместо одноатомного газа, используемого как рабочее тело, употребить такое же количество двухатомного газа?
19. Справедливо ли утверждение, что газ, сжатый в баллоне, обладает запасом потенциальной энергии аналогично сжатой пружине?
20. Энтропия системы. Формула Больцмана.
21. Изображение термодинамических циклов в  $pV$ - и  $TS$  - координатах.
22. Каков физический смысл площади, ограниченной кривой цикла, на  $pV$ - и  $TS$ -диаграммах?

### **Занятие 7.** Практическое занятие по теме «Энтропия функция состояния»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Подсчет изменений энтропии при переходе из одного состояния в другое.

*Для решения используются:* 1) уравнение состояния вещества; 2) параметры исходного и конечного состояний.

Метод решения основан на использовании независимости изменения энтропии от пути перехода.

Процессы смешивания газов и контактного выравнивания температуры. Это типичные необратимые процессы, которые должны сопровождаться увеличением энтропии. Подсчитывается изменение энтропии заменой рассматриваемого необратимого процесса обратимым, переходящим систему из начального состояния в конечное.

*Для решения используются:* 1) уравнения процессов, которыми можно заменить необратимые процессы так, чтобы система перешла из начального состояния в конечное; 2) параметры исходного и конечного состояний.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Что такое приведенное количество теплоты? Какому условию удовлетворяют приведенные количества теплоты для цикла Карно? Какому условию они удовлетворяют для произвольного кругового процесса?
2. Как и в каких переменных можно записать дифференциал функции энтропии  $dS$ ? Как записать  $\Pi$  начало с помощью функции энтропии?
3. Как изменяется энтропия для обратимых и необратимых процессов? Чему равно значение для обратимого и необратимого кругового процесса? Температура каких тел входит в этих случаях в знаменатель подынтегрального выражения?  $\square T dQ$
4. Можно ли осуществить в какой-нибудь системе круговой необратимый адиабатический процесс??
5. В каком направлении изменяется энтропия системы при приближении этой системы к состоянию термодинамического равновесия для изолированной и неизолированной системы?
6. Какие термодинамические соотношения вытекают из условия, что энтропия является полным дифференциалом?
7. Какими свойствами обладают коэффициенты в выражениях для полных дифференциалах?
8. Каким путем можно вычислить изменение энтропии при переходе системы из одного состояния в другое?
9. Какие формы записи Вы знаете для изменения энтропии?
10. Почему энтропия замкнутой системы при необратимом процессе возрастает и почему изменение энтропии в этом случае следует вычислять, используя обратимые процессы?
11. Как можно трактовать изменение энтропии при смешивании газов со статистической точки зрения?
12. Чему равно изменение энтропии для адиабатического процесса?

### **Занятие 8.** Практическое занятие по теме «Проверка текущих знаний»

#### **Молекулярно–кинетическая теория**

**Занятие 9.** Практическое занятие по теме «Газокинетических характеристик явления столкновения молекул (длина свободного пробега, число столкновений, эффективное сечение молекул, средняя скорость)»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Задачи на определение поперечного сечения для столкновения молекул, средней длины свободного пробега, частоты столкновений и средней скорости.

*Для решения используются:* связи между вероятностью столкновения, поперечным сечением, длиной свободного пробега, частотой столкновения и средней скоростью.

Определение температуры и давления газа по известным молекулярным характеристикам с учетом внутренних степеней свободы и обратные задачи.

*Для решения используются:* основное уравнение кинетической теории идеальных газов и закон равнораспределения энергии по степеням свободы.

Определение характеристик броуновского движения немолекулярных объектов.

*Для решения используются:* закономерность броуновского движения и закона равнораспределения энергии по степеням свободы.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1.

Что такое «эффективное сечение» молекул?

2. Как понимать термин «столкновения» молекул? От каких параметров зависит среднее число столкновений молекул в единице объема газа за одну секунду? Как аналитически выражается эта зависимость?

### **Занятие 10–11.** Практическое занятие по теме «Распределения Максвелла»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Определение характеристик молекулярного движения по распределению Максвелла.

*Для решения используется:* распределение Максвелла

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Какая из скоростей Максвелловского распределения входит в формулу для среднего числа столкновений в единице объема газа за одну секунду (квадратичная, средняя арифметическая, наивероятнейшая)?

2. Распределение Максвелла допускает сколь угодно большие скорости. Как это согласовать с конечной, полной кинетической энергией молекул газа?

3. Объясните, какими особенностями распределения Максвелла обуславливается, что средняя величина абсолютной скорости меньше, чем наивероятнейшей, но больше, чем корень квадратный из среднеквадратичной скорости?

4. Если полное число частиц в некотором объеме в поле тяжести фиксировано (непроницаемый сосуд), то как изменяется распределение частиц по высоте с изменением температуры, как изменяется положение центра тяжести частиц?

5. Объясните схему какого-либо опыта, с помощью которого можно экспериментально проверить справедливость распределения Больцмана.

6. Изменяется ли и как подъемная сила аэростата при одновременном одинаковом изменении температуры газа в оболочке аэростата и окружающей среды?

7. Что произойдет в аналогичных условиях с подъемной силой дирижабля?

### **Занятие 12.** Практическое занятие по теме «Барометрическая формула. Распределение Больцмана»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Определение характеристик молекулярного движения по барометрической формуле при наличии потенциальных силовых полей.

*Для решения используется:* барометрическая формула

Определение характеристик молекулярного движения по распределению Больцмана при наличии потенциальных силовых полей.

*Для решения используется:* распределение Больцмана

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Распределение Больцмана применимо для случая потенциальных полей. Что Вы можете сказать о распределении частиц в непотенциальных полях?

2. Имеется ли отличие в механизмах возникновения подъемной силы аэростата и дирижабля? Какое отношение к этому вопросу имеет барометрическая формула?

3. Каков физический смысл микроканонического распределения?

### **Занятие 13.** Практическое занятие по теме «Процессы переноса»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Определение неизвестных характеристик процессов переноса с помощью уравнения переноса для данного конкретного процесса.

Определение газокинетических характеристик молекул из явлений переноса.

Определение изменения величин коэффициентов переноса и газокинетических характеристик молекул в зависимости от изменения параметров состояния газа ( $p$ ,  $V$ ,  $T$ )

Определение характеристик процессов переноса на основании связи между коэффициентами переноса.

Комбинированные задачи.

*Для решения используются* (для решения всех пяти типов): 1) соответствующие уравнения переноса; 2) формулы для коэффициентов переноса данного явления и газокинетических характеристик явления столкновения молекул (средняя длина свободного пробега, среднее число столкновений, эффективное сечение молекул); 3) связь между коэффициентами переноса; 4) основное уравнение молекулярно-кинетической теории газа.

### **Занятие 14.** Практическое занятие по теме «Проверка текущих знаний по разделу «Молекулярно–кинетическая теория»

#### **Реальные газы**

### **Занятие 15.** Практическое занятие по теме «Реальные газы»

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Нахождение неизвестных параметров состояния реального газа по заданным и определение характеристических коэффициентов уравнения Ван–дер–Вальса.

*Для решения используются:* 1) уравнение Ван–дер–Вальса; 2) связь параметров критического состояния реального газа с поправками уравнения Ван–дер–Вальса; 3) определение термических коэффициентов газа.

Сравнение поведения и свойств реально и идеального газов.

*Для решения используются* термодинамические соотношения, вытекающие из свойств энтропии как функции состояния (или полного дифференциала)

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. В чем отличие «реального» газа от «идеального»? При каких условиях расхождение от закона Клапейрона–Менделеева?
2. Как объяснить расхождение экспериментальных данных с уравнением состояния идеального газа при больших давлениях и совпадение для случая малых давлений?
3. Как записывается уравнение Ван–дер–Вальса: а) для одного моля газа; б) для произвольной массы газа?
4. Каков физический смысл поправок в уравнении Ван–дер–Вальса? Как они вычисляются: а) из молекулярно-кинетической теории; б) через параметры критического состояния?
5. Как будут располагаться изотермы Ван–дер–Вальса на графике  $pV$  для различных температур? Какой вид будет иметь изотерма Ван–дер–Вальса: а) для температуры ниже критической; б) для критической температуры; в) для температуры выше критической?
6. Как запишется изменение энтропии для идеального газа и для газа Ван–дер–Вальса?
7. Какова размерность коэффициента  $a$  и  $b$  в уравнении Ван–дер–Вальса? В каких единицах измеряются коэффициенты  $a$  и  $b$  в системе СИ?
8. Какая температура называется критической? Чему она равна для воды? Какое вещество обладает самой низкой критической температурой и скольким градусам она равна?
9. Можно ли воздух в комнате в обычных условиях рассматривать как «идеальный» газ?
10. Что называют «насыщенным» паром? Чем определяется давление (или упругость) насыщенного пара?
11. Что такое критическое состояние? Нарисуйте (качественную) зависимость плотности жидкого азота и его насыщенного пара от температуры. Чему равна сжимаемость неидеального газа в критическом состоянии?



## **Занятие 16. Практическое занятие по теме «Реальные газы»**

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Определение внутренней энергии и теплоемкости газа Ван-дер-Вальса по заданным параметрам его состояния.

*Для решения используются:* 1) определение теплоемкости; 2) определение внутренней энергии ее полного дифференциала; 3) уравнение Ван-дер-Вальса

Определение работы расширения (сжатия) газа Ван-дер-Вальса, количества теплоты, выделенной (поглощенной газом при его расширении (сжатии)), и изменение температуры газа при его расширении в пустоту.

*Для решения используются:* 1) определение «работы газа» (над газом); 2) первое начало термодинамики; 3) уравнение Ван-дер-Вальса; 4) определение внутренней энергии газа Ван-дер-Вальса.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Что называется фазой системы, фазовым равновесием, фазовым переходом, фазовой диаграммой (или кривой равновесия)? Нарисуйте и объясните фазовую диаграмму воды.
2. Какой особенностью обладает фазовая кривая?
3. Как зависит агрегатное состояние вещества от соотношения наименьшего значения потенциальной энергии взаимодействия молекул и средней кинетической энергии хаотического теплового движения молекул?
4. Приведите примеры одно-, двух- и трехфазного равновесного состояния. Сколько фаз одновременно может находиться в равновесном состоянии? От чего это зависит?
5. Что надо знать для ответа на вопрос: можно ли газы, например аммиак и хлор, перевести в жидкое состояние при комнатной температуре и каким способом?
6. Каким путем можно перевести в жидкое состояние указанные в предыдущем вопросе газы? Как можно хранить такие сжиженные газы?
7. Приведите примеры газов, которые никаким способом нельзя привести в жидкое состояние при комнатной температуре и объясните почему
8. Возможен ли непрерывный переход из газообразного состояния в жидкое, минуя стадию двухфазного состояния? Как его осуществить? Возможен ли аналогичный переход из твердого в жидкое (или в газообразное) состояние?
9. Каким явлением сопровождается исчезновение двухфазного состояния жидкость–газ в критической точке? Как оно объясняется и каким образом можно его наблюдать?
10. Что называют «пересыщенным» паром? При каких условиях он может существовать? Как это условие отражено на изотермах Ван-дер-Вальса?
11. Какие участки кривой Ван-дер-Вальса соответствуют «нестабильным» и «метастабильным» состояниям? Объясните смысл и возможность осуществления этих состояний.
12. Что такое перегретая жидкость? Укажите ее область на изотерме Ван-дер-Вальса

## **Занятие 17. Практическое занятие по теме «Реальные газы»**

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

Определение неизвестных параметров газа, характеризующих его поведение при эффекте Джоуля–Томсона.

*Для решения используются:* 1) понятие «энтальпии»; 2) определение дифференциального коэффициента Джоуля–Томсона; 3) формула для температуры инверсии; 4) уравнение Ван-дер-Вальса; 5) все закономерности, применяемые для решения задач типа 1.

Комбинированные задачи.

Для решения используются способы и закономерности, приведенные во всех перечисленных выше типах задач. Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. В чем состоит эффект Джоуля–Томсона? Является ли этот процесс обратимым?
2. Какой эффект Джоуля–Томсона называется «положительным», какой – «отрицательным»? Изобразите графически зависимость температуры инверсии объема ( $T_i=f(V)$ ) и укажите положительную и отрицательную область явления Джоуля–Томсона.
3. Какой характеристикой количественно определяется эффект Джоуля–Томсона?
4. Как определяется коэффициент Джоуля–Томсона через коэффициент расширения газа?

5. Какую температуру называют «температурой инверсии»? Каким уравнением она определяется?
6. От каких параметров зависит температура инверсии? Как записать эту зависимость? Каков физический смысл температуры инверсии?
7. Каково соотношение между температурой инверсии и критической температурой данного газа?
8. Приведите примеры газов, для которых при нормальных условиях эффект Джоуля–Томсона имеет различный знак
9. Каким образом осуществляется сжижение газов с использованием эффекта Джоуля–Томсона?

#### **Занятие 18. Практическое занятие по теме «Фазовые переходы»**

Основные типы задач, разбираемые на практическом занятии и методы их решения

По заданным характеристикам и параметрам для точки перехода требуется определить неизвестный параметр.

*Для решения используются* метод непосредственной подстановки заданных условий в уравнение Клапейрона–Клаузиуса.

По заданным характеристикам и параметрам в некоторой области фазового перехода требуется определить неизвестные.

*Для решения используются* метод подстановки заданных соотношения для тройной точки.

Исследование поведения различных термодинамических параметров вдоль кривых фазового равновесия.

*Для решения используются* метод, основанный на применении термодинамических преобразований к уравнению Клапейрона–Клаузиуса.

Вопросы, рассматриваемые на практическом занятии:

1. Что такое термодинамическая фаза вещества? Совпадает ли понятие термодинамической фазы вещества с понятием агрегатного состояния вещества?
2. Какие величины связывают уравнение Клапейрона–Клаузиуса для однокомпонентной двухфазной системы? Из каких соображений оно выходит?
3. Как получить уравнение Клапейрона–Клаузиуса из термодинамического потенциала?
4. Что такое тройная точка? Что такое критическая точка?
5. Как выглядят кривые фазового равновесия в различных процессах?
6. Каковы две возможности хода кривых плавления на  $p, T$  диаграмме вещества?
7. Возможен ли непрерывный переход жидкой фазы в кристаллическую и жидкой фазы в газообразную (или обратно) без расслоения на две фазы?
8. В чем заключается разница между фазовыми переходами 1-го и 2-го рода?
9. В чем заключается дифференциальный характер уравнения Клапейрона–Клаузиуса?
10. Можно ли, зная  $T$ ,  $p$  и  $L_{жг}$  (скрытая теплота испарения), определить наклон кривой равновесия жидкость–пар в  $pT$ -координатах?
11. При каких условиях можно достаточно точно принять, что теплота возгонки равна сумме теплоты плавления
12. Как находится изменение термодинамических параметров вдоль кривой фазового равновесия?
13. При каких условиях, используя данные для точки перехода, уравнение Клапейрона–Клаузиуса можно распространить на некоторый диапазон значений  $T$  и  $p$ ?
14. Как подсчитать изменение энтропии вещества при фазовом переходе 1-го рода?

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

#### **6.1. План самостоятельной работы студентов**

##### **Таблица 6.1.**

№ п/п	Наименование раздела (темы) дисциплины	Вид самостоятельно й работы	Формы контроля	Количество о часов
1.	Основные параметры молекул и молекулярного движения	1. Работа с учебной литературой. 2. Выполнение домашнего задания 3. Решение задач	устный опрос	4
2.	Основные понятия теории вероятностей и математической статистики.	1. Работа с учебной литературой. 2. Выполнение домашнего задания 3. Решение задач	устный опрос	4
3.	Статистический метод Тепловой контакт между системами	1. Работа с учебной литературой. 2. Выполнение домашнего задания 3. Решение задач	устный опрос	4
4.	Статистический метод распределения Максвелла, Больцмана	1. Работа с учебной литературой. 2. Выполнение домашнего задания 3. Решение задач	устный опрос	6
5.	Начала термодинамики	1. Работа с учебной литературой. 2. Выполнение домашнего задания 3. Решение задач	устный опрос	6
6.	Уравнение Ван дер Вальса Реальные газы	1. Работа с учебной литературой. 2. Выполнение домашнего задания 3. Решение задач	устный опрос	4

7.	Фазовые переходы	1. Работа с учебной литературой. 2. Выполнение домашнего задания 3. Решение задач	устный опрос	4
8.	Броуновское движение. Кинематические характеристики.	1. Работа с учебной литературой. 2. Выполнение домашнего задания 3. Решение задач	устный опрос	4

## 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Учебным планом направления подготовки 03.03.02. Физика по дисциплине «Молекулярная физика» предусматривается самостоятельная работа студента, которая выполняется следующими видами самостоятельной работы: написание контрольной работы по дисциплине, сдача коллоквиума.

### **Виды самостоятельной работы студентов:**

- изучение теоретического материала по конспектам лекций и рекомендованным учебным пособиям, монографической учебной литературе;
- самостоятельное изучение некоторых теоретических вопросов, выделенных в программе дисциплины, нерассмотренных на лекциях;
- выполнение комплекса заданий теоретического характера, расчетных и графических по всем разделам дисциплины;

### **Порядок выполнения и контроля самостоятельной работы студентов:**

- предусмотрена еженедельная самостоятельная работа обучающихся по изучению теоретического лекционного материала; контроль выполнения этой работы предусмотрен на практических занятиях по данной дисциплине;
- самостоятельное изучение некоторых теоретических вопросов, выделенных в программе дисциплины и нерассмотренных на лекциях предусматривается по мере изучения соответствующих разделов, в которых выделены эти вопросы для самостоятельного изучения; контроль выполнения этой самостоятельной работы предусмотрен в рамках промежуточного контроля – зачет по данной дисциплине;
- выполнение и письменное оформление комплекса заданий теоретического характера, контроль выполнения этой самостоятельной работы предусмотрен при завершении изучения дисциплины по представленному в печатном виде отчету по этому виду самостоятельной работы;
- контроль выполнения этой работы предусмотрен на практических занятиях;

**Промежуточный контроль.** В течение семестра студенты выполняют:

- промежуточные контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала;
- коллоквиум по контрольным вопросам, охватывающим базовые вопросы курса

**Итоговый контроль.** Экзамен в конце семестра, включающий проверку теоретических знаний и по всему пройденному материалу.

## 6. 3. Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И ПОДГОТОВКИ К ПРОМЕЖУТОЧНОМУ КОНТРОЛЮ. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ.

Тестовые задания.

1. Какими параметрами определяется состояние вещества? Какие из этих параметров можно назвать статистическими и почему?
2. Какие две идеализации являются основой определения понятия идеального газа?
3. Какой процесс изменения состояния идеального газа называется изотермическим. И каков его график?
4. Какой процесс изменения состояния идеального газа называется изобарическим и каков его график?
5. Выразите изобарический закон как через  $t$  (температура в градусах Цельсия), так и через  $T$  (в Кельвинах).
6. Какой процесс изменения состояния идеального газа называется изохорическим и каков его график?
7. Выразите изохорический закон как через  $t$  (температура в градусах Цельсия), так и через  $T$  (в Кельвинах).
8. Что называется молекулярной массой?
9. Что такое один моль вещества?
10. Как рассчитать молярную массу вещества, молекулы которого состоят из нескольких атомов?
11. Сформулируйте и запишите закон Авогадро.
12. сформулируйте и запишите закон Дальтона.
13. В каких значениях и в каких параметрах определяют выражение «нормальные условия»?
14. Получите уравнение состояния идеального газа. Напишите этот закон для одного моль идеального газа и для любого количества газа.
15. Как выводится универсальная газовая постоянная  $R$  при выводе закона Клайперона-Менделеева? Чему равна величина  $R$  в системе СИ.
16. Объясните, почему частички краски опыте Броуна движется хаотически.
17. Выведите основное уравнение кинетической теории газов, определяющее величину давления молекул идеального газа на стенку сосуда.
18. Какие единицы измерения давления вы знаете?
19. Получите, как средняя инетическая энергия одноатомной молекулы идеального газа связан с абсолютной температурой газа.
20. Что называется постоянной Больцмана? Чему она равна?
21. Опишите опыт Штерна и получите формулу для определения скорости  $\bar{v}$  молекул газа.
22. Запишите формулу распределения молекул газа по скоростям (распределение Максвелла).
23. Нарисуйте график распределения Максвелла.
24. каков физически смысл площади под кривой распределения Максвелла?
25. Как изменяется распределение Максвелла с ростом температуры?
26. Как зависит от температуры средняя квадратичная скорость движения молекул?
27. Что называется наиболее вероятной скоростью молекул газа?
28. Какая связь существует между распределением Максвелла и распределением Гаусса?
29. Выведите барометрическую формулу.
30. Что такое внутренняя энергия? Какие виды энергии молекул тела входят в его внутреннюю энергию?
31. Как определяется и чем измеряется количество теплоты, переданной телу?
32. Как выражается работа, производимая телом над внешними телами при малом изменении объема этого тела?
33. Как записывается и читается первое начало термодинамики?

34. При каких условиях дифференциальная форма является полным дифференциалом и что такое функция состояния?
35. Каково самое важное свойство функции состояния?
36. Что называется числом степеней свободы тела?
37. Объясните, сколько и почему степеней свободы имеет одноатомная, двухатомная, трех – (более) атомная молекула газа.
38. Как получить выражение для внутренней энергии моля идеального газа, молекул которого имеют  $i$  степеней свободы?
39. Что называется удельной теплоемкостью вещества? Теплоемкость? Молярной теплоемкостью?
40. Поясните почему теплоемкости при постоянных давлениях и объемах являются функциями состояния.
41. Из каких физических соображений следует, что теплоемкость идеального газа при постоянном давлении больше, чем при постоянном объеме?
42. Зависит ли теплоемкость газа от поля тяжести в котором он находится?
43. Используя первое начало термодинамики получите выражение для молярной теплоемкости при постоянном объеме идеального газа.
44. Получите уравнение Майера, связывающее молярные теплоемкости идеального газа при постоянном объеме.
45. Каково основное отличие выводов классической и современной квантовой теории теплоемкостей газа?
46. Нарисуйте график зависимости реальной теплоемкости газа от абсолютной температуры этого газа.
47. Как выражается отношение теплоемкостей через число степеней свободы молекул идеального газа.
48. Почему теплоемкости  $C_p$  и  $C_v$  являются функциями состояния?
49. Какой процесс называется адиабатическим?
50. Каковы две реальные возможности получить на опыте процесс близкий к адиабатическому?
51. Покажите с помощью первого начала термодинамики, в каких случаях при адиабатическом процессе происходит нагревание газа.
52. Выведите уравнение адиабатического процесса.
53. Нарисуйте в координатах  $P$ - $V$  изотерму и адиабату. Объясните почему адиабата круче изотермы.
54. Получите выражение для работы, производимой при адиабатическом процессе с идеальным газом.
55. Какова работа газа при изохорическом процессе?
56. Какова работа газа при изобарическом процессе?
57. выведите формулу работы идеального газа при изотермическом изменении его объема.
58. Какие процессы в природе называются необратимыми?
59. Что называется обратимым процессом. Как можно осуществить такой процесс?
60. Объясните почему бесконечно модельный процесс обязательно является равновесным и обратимым.
61. Что такое циклический процесс? Как выражается графически работа прямого, обратимого и всего цикла?
62. Что такое цикл Карно?
63. Получите выражение для коэффициента полезного действия (КПД) цикла Карно.
64. Запишите формулу, в которой энтропия определяется логарифмом числа микросостояний, посредством которых реализуется макросостояние.
65. Энтропию называют функцией состояния, что это значит?
66. Почему в состоянии равновесия энтропия достигает максимума?
67. Чем обусловлено неубывание энтропии в изолированной системе?
68. Приведите различные формулировки второго начала термодинамики.

69. Что такое вероятность состояния? Как формулируется второе начало термодинамики через понятие вероятности состояния системы?
70. Что такое флуктуации? Какие флуктуации чаще встречаются: большие или малые?
71. Покажите, что именно флуктуации ограничивают «снизу» применимость второго начала термодинамики.
72. Чем отличается реальный газ от идеального?
73. При каких давлениях температурах различия между реальным и идеальным газом возрастают?
74. Как выглядит изотерма реальных газа и жидкости?
75. Как связана постоянная  $b$  в уравнении Ван-дер Ваальса с собственным объемом молекул реального газа.
76. Напишите уравнение Ван-дер-Ваальса для одного моля газа и для любого количества газа.
77. Начертите несколько изотерм Ван-дер-Ваальса для различных температур в координатах  $P(V)$ .
78. Чем изотерма Ван-дер-Ваальса отличается от изотермы реального газа?
79. Запишите уравнение Ван-дер-ваальса по степени объема  $V$ . Сколько корней имеет данное уравнение?
80. Покажите на графике уравнения Ван-дер-ваальса область метастабильных состояний?
81. Какая изотерма Ван-дер-Ваальса называется критической?
82. Получите критические параметры  $P_{кр.}$ ,  $V_{кр.}$ ,  $T_{кр.}$ , путем сравнение коэффициентов в двух уравнениях третьей степени.
83. Каким образом можно превратить в жидкость такие газы, как азот, кислород, водород, гелий?
84. При каких условиях жидкость больше испаряется при данной температуре?
85. Какова разница между испарением и кипением?
86. Как зависит давление насыщенного пара от температуры при постоянном объеме?
87. Чем свойства пара отличается от свойства газа?. При каких условиях можно к пару применять газовые законы?
88. Каков механизм образования переохлажденного пара и перегретой жидкости?
89. почему испарение жидкости сопровождается его охлаждением?
90. Объясните причины возникновения поверхностного натяжения в жидкостях.
91. Дайте определение коэффициента поверхностного натяжения. В каких единицах он измеряется?
92. Выведите формулу Лапласа для дополнительного давления под изогнутой поверхностью жидкостью.
93. На двух концах П - образной стеклянной трубочки висят два мыльных пузыря, один по больше другого. Что с ним будет дальше? Почему?
94. Выведите формулу высоты подъема жидкости в капиллярной трубке.
95. какую форму примет некоторая масса жидкости в условиях невесомости.
96. Какую форму принимает капля масла на поверхности воды?
97. Изменится ли поверхностное натяжение воды, если добавить в воду спирт?
98. Каковы причины смачивания и не смачивания жидкостями поверхностей твердых тел?
99. Что называется краевым углом? Каковы величины краевых углов при смачивании и несмачивании?
100. Объясните поведение смачивающей и несмачивающей жидкости в капиллярах.
101. Какую роль играют капиллярные явления в природе, в технике?
102. Почему в условиях земного притяжения поверхностное натяжение проявляется лишь для малых объектов жидкости, например капель?
103. Почему маленькие капли жидкости имеет шарообразную форму?
104. При каких условиях растворенное вещество концентрируется либо в поверхностном слое, либо внутри жидкости?

105. Почему с увеличением температуры плотность и давление насыщенных паров увеличивается, а поверхностное натяжение уменьшается?
106. Нарисуйте диаграмму состояния некоторого вещества в координатах давление – температуры, содержащей тройную точку.
107. Каков физический смысл тройной точки?
108. Какие виды сил связи между частицами твердого тела вы знаете? Как объясняется возникновение соответствующих сил?
109. Какова разница в атомно-молекулярном строении аморфного и кристаллического тела?
110. Почему температура кристаллического тела в процессе его плавления остается постоянной?
111. Почему при растворении поваренной соли в воде температура раствора понижается?
112. Почему вода при кристаллизации растворяется?
113. Что называется кристаллической анизотропией и каковы ее причины?
114. Получите закон Дюлонга и Пти, определяющей теплоемкость грамм-атома твердого тела.
115. Каким соотношением связаны между собой коэффициенты линейного и объемного расширений твердого тела?
116. В каких единицах выражаются коэффициенты линейного и объемного расширений?
117. Сколько типов кристаллических систем имеется?
118. Сколько имеется типов примитивных параллели Браве? И сколько имеется решеток Браве?
119. Как обозначается направление и плоскости в кристаллах?
120. В чем состоит недостаток модели для теплоемкости твердого тела, предложенной Эйнштейном?
121. Что такое фонон? Какие другие элементарные возбуждения вы знаете?
122. Как температура Дебая связана со средней скоростью звука в веществе?
123. Каковы источники дефектов макромолекулярных кристаллов? Перечислите основные дефекты.
124. Запишите уравнение для трех явлений переноса: диффузии, внутреннего трения, теплопроводности.
125. Запишите формулу средней длины пробега молекулы газа. Как эта величина зависит от давления газа?
126. Получите выражение для среднего числа столкновений в секунду молекулы идеального газа и другими молекулами.
127. Почему динамическая вязкость не зависит от давления и растет, в основном, пропорционально корню квадратному из температуры?
128. В чем состоит главное отличие механизма переноса в твердых телах от механизма переноса в газах?
129. Когда движение тела, падающего в жидкости, становится равномерным?

### Критерии оценки промежуточной аттестации в форме экзамена

Таблица 6.3.

Оценка	Характеристика требований к результатам аттестации в форме экзамена
«Отлично»	Теоретическое содержание курса освоено полностью без пробелов, системно и глубоко, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные рабочей учебной программой учебные задания выполнены безупречно, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимуму.
«Хорошо»	Теоретическое содержание курса освоено в целом без пробелов,



	необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, предусмотренные рабочей учебной программой учебные задания выполнены с отдельными неточностями, качество выполнения большинства заданий оценено числом баллов, близким к максимуму.
«Удовлетворительно»	Теоретическое содержание курса освоено большей частью, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных рабочей учебной программой учебных заданий выполнены, отдельные из выполненных заданий содержат ошибки.
«Неудовлетворительно»	Теоретическое содержание курса освоено частично, необходимые навыки работы не сформированы или сформированы отдельные из них, большинство предусмотренных рабочей учебной программой учебных заданий не выполнено либо выполнено с грубыми ошибками, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимуму.

## 7. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) «Молекулярная физика»

### 7.1. Учебная литература.

№№ п/п	Вид занятия (лк,пр,с.р.)	Наименование необходимой учебной литературы по дисциплине	Автор	Издательство, год издания	Наличие лит- ры
<b>Основная литература</b>					
1	лк,пр,с/р	Курс общий физики. Т. 1-3	Зисман Г.А, Тодес О.М.	М.: Наука, 1972г	Библиотека ИнГГУ
2	лк,пр,с/р	Общий курс физики. Т. 1-5.	Сивухин Д.В.	М.: Высшая школа,1996г.	Библиотека ИнГГУ
3	лк,пр,с/р	Курс общей физики. Т. 1-3	Савельев М..В.	М: Наука, 1989г.	Библиотека ИнГГУ
4	лк,пр,с/р	Молекулярная физика.	Кикоин И.К., Кикоин А.К.	М.: Наука, 1976г.	Библиотека ИнГГУ
5	лк,пр,с/р	Курс общей физики.	Трофимова Т.И.	М.: Высшая школа,2005г.	Библиотека ИнГГУ
<b>Дополнительная литература</b>					
1	С/р	Курс физики.	Детлаф А.А., Яворский Б.М.	М.: Высшая школа, 1989.	Библиотека ИнГГУ
2	С/р	Молекулярная физика	Матвеев А.Н.	М.: Высшая школа,1986г.	Библиотека ИнГГУ
3	С/р	Молекулярная физика	Телеснин Р.В.	М.: Наука, 1976г.	Библиотека ИнГГУ

4	С/р	Статистическая физика	Рейф Ф.	М.: Наука, 1976г.	Библиотека ИнГГУ
---	-----	-----------------------	---------	-------------------	------------------

### Сборники задач по курсу общей физики

1	Пр, с/р	Сборник задач по общей физике	Волькенштейн Г.С.	М.: Высшая школа, 1986.	Каф. общ.физ.
2	Пр, с/р	Задачник по физике	Чертов Л. Г., Воробьев А. А.	М.: Высшая школа, 1986.	Каф. общ.физ.
3	Пр, с/р	Задачи по общей физике.	Иродов И. Е.	М.: Наука, 1998.	Каф. общ.физ.

### 7.2. Интернет-ресурсы

<http://fizrast.ru/sitemap.html>

<http://www.don-agro.ru>

<http://xn-80abucjiibhv9a.xn-plai/>

<http://www.agroxxi.ru/> (РГБ)

<http://elibrary.rsl.ru> Научная электронная библиотека

<http://elibrary.ru/default.asp> Российская национальная библиотека

<http://primo.nl.ru> <http://nbmgu.ru> Электронная библиотека Российской государственной библиотеки

### 7.3. Программное обеспечение

Университет обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства.

Каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронной информационно-образовательной среде университета из любой точки, в которой имеется доступ к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» как на территории университета, так и вне ее.

Университет обеспечен следующим комплектом лицензионного программного обеспечения.

1. Лицензионное программное обеспечение, используемое в ИнГГУ
  - 1.1. Microsoft Windows 7
  - 1.2. Microsoft Office 2007
  - 1.3. Программный комплекс ММИС “Визуальная Студия Тестирования”
  - 1.4. Антивирусное ПО Eset Nod32
  - 1.5. Справочно-правовая система “Гарант”

Наряду с традиционными изданиями студенты и сотрудники имеют возможность пользоваться электронными полнотекстовыми базами данных:

**Таблица 8.1.**

Название ресурса	Ссылка/доступ
------------------	---------------

Электронная библиотека онлайн «Единое окно к образовательным ресурсам»	<a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>
«Образовательный ресурс России»	<a href="http://school-collection.edu.ru">http://school-collection.edu.ru</a>
Федеральный образовательный портал: учреждения, программы, стандарты, ВУЗы, тесты ЕГЭ, ГИА	<a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a> –
Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (ФЦИОР)	<a href="http://fcior.edu.ru">http://fcior.edu.ru</a> -
ЭБС "КОНСУЛЬТАНТ СТУДЕНТА". Электронная библиотека технического вуза	<a href="http://polpred.com/news">http://polpred.com/news</a>
Издательство «Лань». Электронно-библиотечная система	<a href="http://www.studentlibrary.ru">http://www.studentlibrary.ru</a> -
Русская виртуальная библиотека	<a href="http://rvb.ru">http://rvb.ru</a> –
Издательство «Лань». Электронно-библиотечная система	<a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a> -
Еженедельник науки и образования Юга России «Академия»	<a href="http://old.rsue.ru/Academy/Archive/Index.htm">http://old.rsue.ru/Academy/Archive/Index.htm</a>
Научная электронная библиотека «e-Library»	<a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a> -
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru">http://www.iprbookshop.ru</a> -
Электронно-справочная система документов в сфере образования «Информо»	<a href="http://www.informio.ru">http://www.informio.ru</a>
Информационно-правовая система «Консультант-плюс»	Сетевая версия, доступна со всех компьютеров в корпоративной сети ИнГГУ
Информационно-правовая система «Гарант»	Сетевая версия, доступна со всех компьютеров в корпоративной сети ИнГГУ
Электронно-библиотечная система «Юрайт»	<a href="https://www.biblio-online.ru">https://www.biblio-online.ru</a>

#### **7.4.. Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины/модуля «Молекулярная физика»**

**Материально-техническая база университета** позволяет обеспечивать качественное проведение теоретических и практических занятий.

Лаборатория «Молекулярная физика» (№01) 386132, РИ, г.Назрань, Гамурзиевский округ, ул. Магистральная, 39а, Корпус 3Е:	<p>Установка для изучение теплового расширения твердых тел (прибор Менделеева).</p> <p>Установка для измерения постоянной Больцмана. Установка для определение молярной газовой постоянной методом</p>
--	--

	<p>изохорического нагревания.</p> <p>Установка для определения вязкости и основных характеристик молекулярного движения газов.</p> <p>Установка для определения отношения теплоемкостей газов.</p> <p>Установка для определения вязкости жидкости методом Стокса.</p> <p>Установка для исследования зависимости поверхностного натяжения жидкости от температуры методом Ребиндера.</p> <p>Установка для определения поверхностного натяжения жидкости методом отрыва кольца.</p> <p>Установка для определения поверхностного натяжения методом отрыва капель.</p> <p>Установка для изучения изменения энтропии в неизолированной системе.</p>
--	--

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине (модулю)

**Б1.О.09.02 «Молекулярная физика»**

***Методические рекомендации по изучению дисциплины «Молекулярная физика»***

Основной целью при изучении дисциплины является стремление показать области применения и формирование у будущих специалистов теоретических знаний и практических навыков по использованию законов молекулярной физике для широкого спектра задач в различных областях.

Основными задачами изучения дисциплины «Молекулярная физика» являются:

- ☐ сообщить студенту основные принципы и законы молекулярной физики и их математическое выражение;
- ☐ ознакомить студента с основными оптическими явлениями, методами их наблюдения и экспериментального исследования, с главными методами точного измерения физических величин, простейшими методами обработки результатов эксперимента и основными физическими приборами;
- ☐ сформировать определенные навыки экспериментальной работы, научить правильно выразить физические идеи, количественно формулировать и решать физические задачи, оценивать порядки физических величин.

Для эффективного изучения теоретической части дисциплины «Молекулярная физика» необходимо:

- ☐ построить работу по освоению дисциплины в порядке, отвечающим изучению основных этапов, согласно приведенным темам лекционного материала;
- ☐ систематически проверять свои знания по контрольным вопросам и заданиям;
- ☐ усвоить содержание ключевых понятий;
- ☐ плотно работать с основной и дополнительной литературой по соответствующим темам.

Для эффективного изучения практической части дисциплины «Молекулярная физика» рекомендуется:

- ☐ систематически выполнять подготовку к практическим занятиям по предложенным преподавателем темам;
- ☐ своевременно выполнять практические задания.

**Промежуточный контроль**

В течение семестра студенты выполняют:

- ☐ домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости

домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических и лабораторных занятиях;

- ☐ промежуточные задания во время лабораторных и практических занятий для выявления знаний по основным элементам новых разделов теории; течение семестра.

**Итоговый контроль**

**Традиционная система контроля.**

**Текущий контроль** осуществляется в течение семестра в устной и письменной форме в виде контрольных и лабораторных работ, устных опросов и проектов.

**Промежуточный контроль** проводится в виде контрольных работ и тестов. Объектом контроля являются умения во всех видах деятельности, ограниченные тематикой и проблематикой изучаемых разделов курса. Учебно-методические материалы для проведения промежуточного контроля (контрольных работ) каждый учебный год разрабатываются заново. Варианты контрольных работ прошлых лет доступны в электронной форме.

**Итоговый контроль** проводится в виде экзамена за весь курс обучения. Объектом контроля является достижение заданного Программой уровня владения компетенцией (Основного/Повышенного).

Экзамен в конце 2 семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решать практические задачи по всему пройденному материалу.

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЕТЕНЦИЙ, С УКАЗАНИЕМ ЭТАПОВ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

*Перечень формируемых компетенций:*

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Наименование оценочного средства
УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1. Определяет круг задач в рамках поставленной цели, определяет связи между ними	<i>Тест</i> <i>Практическое задание</i> <i>Контрольная работа</i> <i>Лабораторные работы</i>
	УК-2.2. Предлагает способы решения поставленных задач и ожидаемые результаты; оценивает предложенные способы с точки зрения соответствия цели проекта	
	УК-2.3. Планирует реализацию задач в зоне своей ответственности с учетом имеющихся ресурсов и ограничений, действующих правовых норм;	
ОПК-1. Способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии,	ОПК-1.1. Умеет осуществлять обработку и представлять экспериментальные данные, проводить оценку погрешности результатов измерений полученных в ходе научных исследований физических объектов, систем и процессов	<i>Тест</i> <i>Практическое задание</i> <i>Контрольная работа</i> <i>Лабораторные работы</i>
	ОПК-1.2. Умеет использовать основные методы и средства измерений и проведения научных исследований физических объектов, систем и процессов	
	ОПК-1.3. Владеет навыками разработки решения конкретных	

	экспериментальных научных задач исследования физических объектов, систем и процессов, выбирая оптимальный вариант, оценивая его достоинства и недостатки, определяя ожидаемые результаты решения выделенных задач	
ПК -3. Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований	<p>ПК-3.1. Понимает физические основы методов и средства преобразования информации, обмена информацией на расстоянии с помощью радиоэлектронных средств и технологий.</p> <p>ПК-3.2. Владеет методологией математического моделирования физических процессов и объектов на базе как стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ.</p> <p>ПК-3.3. Применяет цифровую технику при обработке данных при соблюдении основных требований информационной безопасности.</p> <p>ПК-3.4. Применяет современные информационные средства при подготовке данных при составлении обзоров, отчетов и научных публикаций.</p>	<p><i>Тест</i></p> <p><i>Практическое задание</i></p> <p><i>Контрольная работа</i></p> <p><i>Лабораторные работы</i></p>

## 2. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ, ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ

### Оценивание выполнения *практических заданий*

Уровень освоения	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	1. Полнота выполнения практического задания; 2. Своевременность выполнения задания; 3. Последовательность и рациональность выполнения задания; 4. Самостоятельность решения.	Студентом контрольная работа решена самостоятельно. Составлен правильный алгоритм решения заданий. Рассуждения логичны, в выборе формул и решении нет ошибок, получены верные ответы, задания решены рациональным способом. Выполнено 76–100 % (по баллам) контрольной работы
Хорошо (базовый уровень)		Студентом контрольная работа выполнена с подсказкой преподавателя. Составлен правильный алгоритм решения заданий. Рассуждения логичны и в решениях нет существенных ошибок. Правильно сделан выбор формул для решения; есть объяснение решения, но задания решены нерациональным способом или допущено не более двух несущественных ошибок, получен верный ответ. Выполнено 50–75 % (по баллам) контрольной работы
Удовлетворительно (пороговый уровень)		Студентом контрольная работа решена с подсказками преподавателя. При этом задание понято правильно. В логических рассуждениях нет существенных ошибок, но допущены существенные ошибки в выборе формул или в математических расчетах. Задания решено не полностью или в общем виде. Выполнено 25–49 % (по баллам) контрольной работы
Неудовлетворительно		Студентом задания не



(уровень сформирован)	не	решено
-----------------------	----	--------

### Оценивание выполнения лабораторных работ

Уровень освоения	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	1. Полнота выполнения лабораторной работы; 2. Своевременность выполнения лабораторной работы; 3. Последовательность и рациональность выполнения отчета по лабораторной работе; 4. Самостоятельность выполнения лабораторных работ.	Студентом лабораторная работа выполнена самостоятельно. Составлен правильный алгоритм выполнения лабораторной работы и отчета по ней, в выводе приведены правильные логические рассуждения. В выборе формул для обработки результатов и графической интерпретации этих результатов нет ошибок, получены верные значения исследуемых и рассчитываемых параметров, лабораторная работа выполнена рациональным способом. Даны правильные и полные ответы на контрольные вопросы.
Хорошо (базовый уровень)		Составлен правильный алгоритм выполнения лабораторной работы и отчета по ней, в выводе приведены в основном правильные логические рассуждения. В выборе формул, для обработки результатов, и графической интерпретации этих результатов нет существенных ошибок. Получены, верные значения исследуемых и рассчитываемых параметров, но лабораторная работа выполнена нерациональным способом или допущено не более двух несущественных ошибок. Даны правильные, но не полные ответы на контрольные вопросы.
Удовлетворительно		Студентом лабораторная

(пороговый уровень)		<p>работа выполнена с подсказками преподавателя. При этом задание по лабораторной работе понято правильно. В логических рассуждениях, отчета по лабораторной работе нет существенных ошибок, но допущены существенные ошибки в выборе формул, для обработки результатов, и графической интерпретации этих результатов; обработка результатов выполнена не полностью или в общем виде. Даны в основном правильные, не полные ответы на контрольные вопросы.</p>
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		<p>Студентом лабораторная работа не выполнена и /или не проведена обработка и интерпретация результатов эксперимента. Нет ответов на контрольные вопросы.</p>

### Оценивание выполнения тестов

Уровень освоения	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	<p>1. Полнота выполнения тестовых заданий;</p> <p>2. Своевременность выполнения;</p> <p>3. Правильность ответов на вопросы;</p> <p>4. Самостоятельность тестирования.</p>	<p>выполнено 90–100% заданий предложенного теста, в заданиях открытого типа дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос</p>
Хорошо (базовый уровень)		<p>выполнено 65–89% заданий предложенного теста, в заданиях открытого типа дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос; однако были допущены неточности в определении понятий, терминов и др.</p>
Удовлетворительно (пороговый уровень)		<p>выполнено 31–64% заданий предложенного теста, в заданиях открытого типа дан неполный ответ на поставленный вопрос, в ответе не присутствуют доказательные примеры,</p>

		текст со стилистическими и орфографическими ошибками.
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		выполнено 0–30% заданий предложенного теста, на поставленные вопросы ответ отсутствует или неполный, допущены существенные ошибки в теоретическом материале (терминах, понятиях).

### Оценивание ответа на экзамене

Уровень освоения	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	1. Полнота изложения теоретического материала; 2. Полнота и правильность решения практического задания; 3. Правильность и/или аргументированность изложения (последовательность действий); 4. Самостоятельность ответа; 5. Культура речи.	Студентом дан полный, в логической последовательности развернутый ответ на поставленный вопрос, где он продемонстрировал знания предмета в полном объеме учебной программы, достаточно глубоко осмысливает дисциплину, самостоятельно, и исчерпывающе отвечает на дополнительные вопросы, приводит собственные примеры по проблематике поставленного вопроса, ответил на дополнительные вопросы без ошибок
Хорошо (базовый уровень)		Студентом дан развернутый ответ на поставленный вопрос, где студент демонстрирует знания, приобретенные на лекционных и семинарских занятиях, а также полученные посредством изучения обязательных учебных материалов по курсу, дает аргументированные ответы, приводит примеры, в ответе присутствует свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается неточность в ответе.

		<p>Отвeтил на все дополнительные вопросы с небольшими неточностями</p>
<p>Удовлетворительно (пороговый уровень)</p>		<p>Студентом дан ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой дисциплины, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы, знанием основных вопросов теории, слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры, недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа на дополнительные вопросы.</p>
<p>Неудовлетворительно (уровень не сформирован)</p>		<p>Студентом дан ответ, который содержит ряд серьезных неточностей, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы, незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов, неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Выводы поверхностны. Нет ответов на дополнительные вопросы, т.е студент не способен ответить на вопросы даже при дополнительных наводящих вопросах преподавателя.</p>

### **3. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

#### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Термодинамическая система как объект исследования.
2. Микроскопическое и макроскопическое описание.
3. ТД равновесие. Флуктуации физических величин.
4. Термодинамические величины. Температура. Макроскопическое движение. Внешние воздействия. Адиабатический процесс. Давление.
5. Работа и количество тепла. Теплоемкость.
6. Термодинамические потенциалы.
7. Первый и второй закон термодинамики. Теорема Карно.
8. Третий закон термодинамики и его следствия. Недостижимость абсолютного нуля температур.
9. Поведение теплоемкости вблизи абсолютного нуля.
10. ТД неравенства. Принцип Ле Шателье-Брауна.
11. Методы охлаждения газов (процесс Джоуля-Томсона, расширение газа в пустоту и т.д.)
12. ФП2-го рода. Уравнения Эренфеста.
13. Термодинамика ФП «проводник-сверхпроводник».
14. Распределение Максвелла.
15. Свободная энергия в распределении Гиббса.
16. Большое каноническое распределение Гиббса.
17. Идеальный больцмановский газ. Распределение Больцмана.
18. Пределы применимости идеального больцмановского газа.
19. Свободная энергия идеального газа. Уравнение состояния.
20. Закон равнораспределения.
21. Статистика Ферми-Дирака и статистика Бозе-Эйнштейна
22. Молекулярное движение в жидкостях
23. Молекулярное движение в твердых телах
24. Полимера
25. Изгиб длинных молекул
26. Жидкие кристаллы
27. Выращивание кристаллов
28. Переход в сверхпроводящее состояние
29. Тепловое ионизационное равновесие
30. Уравнение Саха
31. Метод лазерной вспышки для измерения теплопроводности
32. Двигатель Стирлинга
33. Тепловой баланс Земли
34. Конвективное движение в мантии Земли
35. Энтропийный баланс Земли
36. Динамика мировой системы

#### **ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

1. Дайте определение атомной и молекулярной массы. Что такое изотоп? Запишите приближенно объем

молекулы. Что характеризует число Лошмидта, числа Авогадро?

2. Перечислите основные элементы модели вещества в молекулярной физике.

3. В чем состоят основные признаки различных агрегатных состояний вещества?

4. Какое утверждение лежит в основе статистического метода применительно к молекулярной физике?

5. В чем сущность термодинамического метода описания состояния системы? На каких законах этот метод базируется?

6. Дайте определение вероятности, плотности вероятности.

7. Какое свойство совокупности событий делает возможным нормировку вероятности?

8. Запишите формулы для среднего значения дискретной и непрерывной случайной величины.

9. Зависит ли среднее значение величины от переменной, по которой производится усреднение? Приведите примеры, подтверждающие ваш ответ.

10. Какими величинами характеризуются макро- и микроскопические состояния газа?

11. Каков общий характер соотношения между макро- и микроскопическими состояниями системы?

12. Запишите функцию распределения Гаусса (используя в качестве переменной величины координату  $x$ ) и изобразите примерный вид этой функции.

13. При каких предположениях справедливо распределение Максвелла по скоростям?

14. Как изменяется распределение Максвелла с ростом температуры?

15. Чем обуславливается существование максимума на кривой, характеризующей распределение Максвелла?

16. Какая связь существует между распределением Максвелла и распределением Гаусса?

17. Запишите функции распределения Максвелла  $\varphi(v)$ ,  $f(v)$ ,  $F(v)$ , что они характеризуют?

18. Получите значение наиболее вероятной, среднеарифметической и среднеквадратичной скоростей.

19. Изобразите вид кривой распределения  $F(v)$  и отметьте примерные положения наиболее вероятной, среднеарифметической и среднеквадратичной скоростей.

20. Изобразите примерные графики функции  $F(v)$  для двух разных значений температур.

21. Изобразите примерные графики функции  $F(v)$  для двух газов с различными значениями молекулярной массы.

22. Объясните причину асимметрии графика функции распределения  $F(v)$ .

23. Определите долю молекул водорода при температуре  $T=300\text{K}$ , обладающих скоростями, лежащими в интервале от 1900 до 1905 м/с?

24. Определите долю молекул газа при температуре  $T$ , скорости которых больше некоторого заданного значения  $V$ ?

25. Опишите опыты Штерна по определению скоростей атомов. Получите формулу  $\langle v \rangle = \omega R \Delta S$ .

26. Распределение Максвелла допускает сколь угодно большие скорости и кинетические энергии молекул. Как это согласовать с конечной полной кинетической энергией молекул газа?

27. Какими особенностями распределения Максвелла обуславливается, что средние модули скорости больше, чем наименьшая скорость, но меньше, чем корень квадратный из среднеквадратичной?

28. Определите число молекул газа, энергия которых превышает заданную величину  $E_1$  (меньше заданной величины  $E_1$ ).

29. В каком соотношении находятся между собой средние кинетические энергии теплового движения разных частиц вещества в состоянии его термодинамического равновесия?

30. Как относятся средние скорости разнородных молекул при данной температуре?

31. Выведите функцию распределения Максвелла  $F(v)$ .

32. В чем смысл столкновения и средней длины свободного пробега при их определении посредством поперечного сечения?
33. Выведите формулу для среднего числа столкновений, испытываемых одной молекулой и между всеми молекулами единицы объема газа в единицу времени.
34. Что такое средняя длина свободного пробега молекул газа? Выведите формулу для средней длины свободного пробега молекул. Получите численное значение этой величины для молекул газа, находящегося при нормальных условиях.
35. Запишите формулу для частоты столкновений молекул о стенку сосуда. Почему столкновения между молекулами идеального газа не сказываются на частоте столкновений молекул о стенку сосуда.
36. Выведите формулу для эффективного поперечного сечения столкновений. Как поперечное сечение связано с законом ослабления молекулярного пучка в газе? Какой смысл имеет поперечное сечение? Как оно связано с температурой?
37. Приведите формулу для поперечного сечения столкновений. Имеет ли это сечение чисто геометрический смысл? От чего оно зависит?
38. Выведите формулу для средней длины свободного пробега молекул газа. От каких величин она зависит?
39. Какие кинематические характеристики молекулярного движения Вы знаете? Запишите формулы для определения этих характеристик.
40. Что называется числом степеней свободы?
41. Каким числом переменных можно описать состояние двухатомной молекулы? Что характеризуют эти переменные?
42. Какие виды движения определяют энергию молекулы? Когда проявляются вращательные и колебательные степени свободы?
43. Запишите формулы для вероятностей поступательного, вращательного и колебательного движения.
44. Используя формулу  $dP = A \exp[-m_2(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2/kT)] dv_x dv_y dv_z$ , где  $A$  – постоянная нормировки, доказать, что на одну поступательную степень свободы приходится энергия, равная  $\langle m v_x^2 \rangle = 1/2 kT$ .
45. Покажите, что на каждую вращательную степень свободы приходится энергия, равная  $1/2 kT$ .
46. Покажите, что на каждую колебательную степень свободы приходится энергия, равная  $kT$ .
47. Полагая, что число атомов в молекуле равно  $N$ , определите среднюю энергию одной молекулы (линейной, нелинейной) и рассмотрите случай трехатомной молекулы.
48. Средняя скорость движения броуновской частицы зависит от ее массы, а средний квадрат удаления частицы от начала за фиксированный промежуток времени от массы не зависит. Почему у легких частиц
49. Сколько молей атомов кислорода содержат два моля молекул воды?
50. Используя формулу для элементарного потока через площадку  $dS$  за время  $dt$ , получите основное уравнение молекулярно-кинетической теории.
51. В каком направлении изменится вычисленное значение давления для идеального газа на стенку, если принять во внимание конечные размеры молекул?
52. В каком направлении изменится вычисленное значение давления для идеального газа на стенку, если принять во внимание силы притяжения между молекулами?
53. Что Вы понимаете под уравнением состояния системы? Запишите уравнение состояния для идеального газа, газа Ван-дер-Ваальса, дифференциальное уравнение состояния.
54. В чем сущность законов Дальтона и Авогадро?
55. Какой смысл получает параметр температуры при молекулярно-кинетическом исследовании тепловых свойств вещества?
56. Дайте понятие термометрического тела и термометрической величины. Какие физические характеристики тел можно использовать для измерения температуры? Чем объясняется разнообразие шкал температур?
57. Какое тело выбрано в качестве термометрического в абсолютной термодинамической шкале температур? Каковы преимущества такого выбора?

58. По скольким реперным точкам определяется термодинамическая шкала температур в СИ?
59. Какими термометрами и методами измеряются температуры в различных интервалах?
60. Запишите закон распределения Больцмана. Объясните его сущность.
61. Выведите барометрическую формулу и рассмотрите изменение давления с высотой для различных газов. Изобразите примерный вид этой зависимости. Почему процентный состав в воздухе, до высот порядка 20 км, остается постоянным?
62. При подъеме молекул в поле тяжести их кинетическая энергия уменьшается. Почему при этом в поле тяжести в состоянии равновесия температура не зависит от высоты?
63. В чем заключается суть опыта Перрена по определению постоянной Больцмана (числа Авогадро)?
64. Получите формулы для подъемной силы, действующей на замкнутую оболочку и на аэростат.
65. Дайте понятие внутренней энергии, теплоты, работы. Как внутренняя энергия, так и теплота обуславливаются энергетическими условиями на молекулярном уровне. В чем их различие?
66. При каких условиях дифференциальная форма является полным дифференциалом и что такое функция состояния системы? Какие термодинамические величины являются функциями состояния?
67. В чем состоит содержание первого начала термодинамики? Как математически записывается этот закон?
68. Каково самое важное свойство функции состояния?
69. Запишите выражение для внутренней энергии одного моля идеального газа, состоящего из линейных (нелинейных) молекул.
70. Сформулируйте содержание первого начала термодинамики. Как математически записывается этот закон?
71. Что называется теплоемкостью, удельной и молярной теплоемкостями?
72. Из каких физических соображений следует, что теплоемкость идеального газа при постоянном давлении больше, чем при постоянном объеме?
73. Используя математическое выражение первого начала найти связь между  $C_P$  и  $C_V$ . Рассмотрите также случай реального газа. Зависит ли в общем случае теплоемкость от потенциальной энергии взаимодействия молекул?
74. Изобразите графически ориентировочную зависимость  $C_V$  от температуры для двухатомного газа, например, для водорода. Вблизи какой температуры найденное на опыте значение теплоемкости молекулярного водорода стремится к значению теплоемкости одноатомного газа?
75. Какие делаются предположения о строении молекул при расчете теплоемкости газа на основании теоремы о равномерном распределении энергии по степеням свободы?
76. Ограничены ли какими-нибудь пределами возможные значения теплоемкости?
77. При каких условиях теплоемкость может иметь отрицательный знак? Возможен ли такой случай?
78. Какие термодинамические процессы Вам известны, и какими уравнениями они описываются? Изобразите графики этих процессов. Получите выражения для работы, совершаемой системой при этих процессах.
79. В каких случаях приращение внутренней энергии системы равно подведенному к системе количеству тепла?
80. В каких случаях внутренняя энергия системы постоянна?
81. В каких случаях изменение внутренней энергии системы равно внешней работе, совершенной системой?
82. Получить уравнение адиабатического процесса и найти работу, выполненную системой при этом процессе.
83. Получите уравнение политропического процесса. При каких условиях политропический процесс переходит в адиабатический, изотермический, изобарический, изохорический? Какие предельные значения может принимать молярная теплоемкость политропического процесса, совершаемого газом?



84. Почему первый закон термодинамики эквивалентен утверждению о невозможности построения вечного двигателя первого рода?
85. В чем состоит принципиальное различие циклов тепловых и холодильных машин?
86. Опишите цикл Карно с идеальным газом. Выведите формулу для КПД цикла Карно.
87. Запишите выражения для КПД тепловых и холодильных машин. При каких условиях КПД этих машин больше единицы?
88. Дайте формулировки Клаузиуса и Томсона (Кельвина) второго начала термодинамики и докажите их эквивалентность.
89. Термодинамическая шкала температур и её тождественность идеально-газовой шкале.
90. Сформулируйте теоремы Карно.
91. Путем обобщения второго начала термодинамики попытайтесь ввести понятие энтропии.
92. Запишите основное уравнение термодинамики, связывающее первое начало со вторым.
93. Изобразите цикл Карно на диаграмме  $S$ - $T$  ( $S$  – энтропия,  $T$  – температура) и найдите выражение для КПД цикла.
94. Сформулируйте теорему о росте энтропии изолированной системы. Перечислите процессы, при которых энтропия растет. Докажите теорему, используя конкретный процесс.
95. Получите формулу для приращения энтропии идеального газа, если его параметры изменяются в пределах от  $P1$  до  $P2$  и от  $V1$  до  $V2$ . Покажите, что при изохорическом процессе приращение энтропии одного моля идеального газа равно  $\Delta S = CV \ln T2/T1$ .
96. Как определяется статистический вес (термодинамическая вероятность)?
97. Запишите формулу Больцмана, связывающую энтропию системы с вероятностью ее состояния.
98. Объясните механизм возникновения ионной связи в молекуле. Изобразите вид кривой потенциальной энергии взаимодействия ионов в молекуле в зависимости от расстояния между ними. Какими силами обусловлены разные участки этой кривой?
99. Как возникает ковалентная связь в молекуле, состоящей из двух одинаковых атомов?
100. Что Вы можете сказать о локализации электронов в ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллах?
101. Чем вызываются Ван-дер-Ваальсовы силы? Изобразите вид кривой потенциальной энергии взаимодействия между молекулами в зависимости от расстояния.
102. Запишите уравнение состояния реального газа для произвольного количества вещества. От каких параметров зависит внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
103. Изобразите теоретические и экспериментальные изотермы реального газа. Опишите зависимость давления насыщенных паров от температуры. Почему переохлажденный пар и перегретая жидкость называются метастабильными состояниями?
104. Опишите состояние системы жидкость – пар.
105. Приведите примерный расчет поправок на объем и на давление, входящих в уравнение Ван-дер-Ваальса.
106. Выведите выражения для параметров системы в критическом состоянии.
107. В чем заключается эффект Джоуля-Томсона? Дайте понятие точки инверсии. Как получить кривую инверсии? Эффект Джоуля-Томсона считается положительным, если при просачивании через пористую перегородку газ нагревается (охлаждается)?
108. Для каких целей применяется эффект Джоуля-Томсона.
109. Можно ли газ перевести в жидкое состояние, используя высокое давление, или для сжижения газа необходимо создавать специальные условия?
110. Объясните механизм возникновения сил поверхностного натяжения. Покажите, что коэффициент поверхностного натяжения определяется работой, которую нужно затратить, чтобы увеличить поверхность пленки на единицу площади.
111. Найдите приращение свободной энергии поверхностного слоя при изотермическом слиянии двух одинаковых капель ртути диаметром 1,5 мм. Что происходит с физической точки зрения?
112. Используя метод воображаемых круговых процессов, найти зависимость коэффициента поверхностного натяжения от температуры. Приведите численное значение этого коэффициента при критической температуре.
113. Что понимается под поверхностно-активными веществами?

114. Охарактеризуйте условия равновесия жидкости на границе раздела сред. Получите формулы, описывающие условия равновесия на границе раздела сред.
115. Запишите формулу поверхностного молекулярного давления на каплю жидкости радиуса  $R$ . Какой вид примет эта формула в случае пузырька того же радиуса?
116. Запишите формулу Лапласа в общем виде. Может ли дополнительное молекулярное давление, оказываемое на жидкость, равняться нулю? Дайте обоснования.
117. Получите формулу для высоты поднятия (опускания) уровня жидкости в открытой капиллярной трубке. В какой области человеческой деятельности капиллярные каналы целесообразно закрывать сверху?
118. Для каких целей используются явления смачивания и несмачивания? Может ли тело плавать на поверхности жидкости, если плотность тела больше плотности жидкости? Может ли тело погружаться в жидкость, если плотность тела меньше плотности жидкости?
119. Выведите формулу теплоемкости одноатомных твердых тел. В чем заключается сущность закона Дюлонга-Пти?
120. Как выполняется закон Дюлонга - Пти для различных элементов? Приведите примерную кривую зависимости теплоемкости от температуры.
121. Какие допущения делаются при выводе теплоемкости по квантовой теории? В чем отличие теорий Эйнштейна и Дебая?
122. Почему при температурах, близких к абсолютному нулю теплоемкости стремятся к нулевому значению?
123. Для газов при обычных температурах справедливо уравнение Майера  $C_p - C_v = R$ . Что можно сказать о выполнении или невыполнении этого уравнения в случае металлов?
124. Удельные теплоемкости металлических твердых тел значительно меньше удельных теплоемкостей газов и жидкостей. Объясните причину этих расхождений.
125. Считая, что на каждый колеблющийся ион кристаллической решетки приходится один свободный электрон и что, свободные электроны можно рассматривать как идеальный газ, определите атомную теплоемкость кристалла. Сравните полученное значение с выражением закона Дюлонга - Пти. Объясните полученный результат.
126. Что такое насыщенный пар? Запишите уравнение зависимости давления насыщенного пара от температуры (уравнение Клапейрона-Клаузиуса).
127. Получите уравнение Клапейрона-Клаузиуса, используя метод воображаемых круговых процессов.
128. Какие процессы можно описывать с помощью уравнения Клапейрона-Клаузиуса?
129. Приведите пример диаграммы состояния вещества. Дайте понятие тройной точки, приведите значения параметров тройной точки для воды.
130. Какими эффектами сопровождаются фазовые переходы первого рода?
131. Можно ли использовать (и как) уравнение Клапейрона-Клаузиуса для описания фазовых переходов второго рода? Какие переходы относятся к переходам второго рода?
132. Какой критерий термодинамического потенциала Гиббса используется при разделении фазовых переходов первого и второго рода?
133. Как Вы понимаете полиморфные превращения, приведите конкретные примеры таких превращений? К переходам какого рода относятся эти превращения?
134. Чем отличается процесс кипения от процесса испарения? Почему, закипая вода "шумит"?
135. Дайте понятие перегретого и пересыщенного пара, перегретой и переохлажденной жидкости. В какой области физики используют явление пресыщения водяного пара и перегрева воды?
136. Что понимают под скрытой теплотой парообразования (плавления, сублимации)?
137. Вывести рабочую формулу для определения скрытой теплоты парообразования.
138. Как изменяется энтропия системы при фазовых переходах первого и второго рода?
139. Объясните процесс диффузии (вязкости, теплопроводности). В чем состоит сущность этих процессов с точки зрения молекулярно-кинетической теории? Приведите экспериментальные законы, описывающие явления переноса.

## ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Основные экспериментальные факты, свидетельствующие о дискретном строении вещества. Массы и размеры молекул. Число Авогадро. Особенности межмолекулярного взаимодействия.
2. Статистический и термодинамический методы описания систем многих частиц. Макроскопическое и микроскопическое состояние системы.
3. Вероятность. Плотность вероятности. Нормировка вероятности. Средние значения дискретной и непрерывно изменяющейся случайной величины.
4. Понятие температуры. Принципы конструирования термометра. Термометрическое тело и термометрическая величина. Эмпирические шкалы температур. Шкала температур на основе свойств идеального газа.
5. Расчёт вероятности макроскопического состояния.
6. Наиболее вероятное число частиц.
7. Распределение Гаусса.
8. Вывод распределения Максвелла из распределения Гаусса. Распределение молекул по компонентам скоростей
9. Характерные скорости распределения Максвелла.
10. Нахождение числа молекул, обладающих заданным направлением движения в заданном интервале скоростей.
11. Нахождение числа молекул, энергия которых превышает заданную величину.
12. Частота столкновений молекул газа о стенку сосуда.
13. Измерение скоростей молекул. Проверка распределения Максвелла.
14. Распределение Больцмана. Распределение Максвелла-Больцмана.
15. Опыты Перрена по определению постоянной Больцмана (числа Авогадро).
16. Барометрическая формула (вывод) и атмосфера Земли. Зависимость барометрического распределения от сорта молекул.
17. Длина свободного пробега молекулы и ее эффективное сечение (геометрическое и вероятностное толкование).
18. Распределение по длинам свободного пробега молекул в пучке.
19. Равномерное распределение энергии по степеням свободы.
20. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (вывод).
21. Вывод уравнения состояния идеального газа. Закон Дальтона. Закон Авогадро.
22. Термодинамические параметры. Нулевое начало термодинамики. Понятие термодинамического равновесия. Квазистатические процессы. Обратимые и необратимые процессы.
23. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия. Теплота. Работа.
24. Теплоёмкость системы. Теплоёмкость идеального газа. Связь теплоёмкости газа с числом степеней свободы молекул. Уравнение Майера Экспериментальная зависимость  $C_v$  идеального газа от температуры.
25. Модель идеального газа. Внутренняя энергия. Работа. Теплота.
26. Изотермический, изохорический, изобарический, адиабатический процессы. Работа в этих процессах.
27. Политропические процессы. Уравнение политропы. Работа в этом процессе.
28. Преобразование теплоты в работу. Нагреватель, рабочее тело, холодильник. Коэффициент полезного действия.
29. Тепловой двигатель и холодильная машина.
30. Цикл Карно и его КПД.
31. Две теоремы Карно.
32. Термодинамическая шкала температур и её тождественность идеально-газовой шкале. Неравенство Клаузиуса.
33. Второе начало термодинамики. Формулировка Клаузиуса и Томсона (Кельвина). Их эквивалентность
34. Закон возрастания энтропии в неравновесной изолированной системе. Теорема Нернста.

35. Энтропия и вероятность. Микро- и макросостояния системы. Термодинамическая вероятность. Принцип Больцмана. Статистическая интерпретация второго начала термодинамики.
36. Реальные газы. Силы межмолекулярного взаимодействия. Потенциал Леннарда - Джонса.
37. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
38. Теоретические и экспериментальные изотермы реального газа. Зависимость давления насыщенных паров от температуры. Метастабильные состояния.
39. Система жидкость – пар.
40. Критическое состояние. Критические параметры газа Ван-дер-Ваальса.
41. Эффект Джоуля – Томсона и температура инверсии.
42. Жидкости. Общее описание, элементы теории Френкеля. Ближний порядок. Поверхностная свободная энергия и коэффициент поверхностного натяжения.
43. Давление под искривленной поверхностью жидкости: формула Лапласа.
44. Смачивание, краевые углы, капиллярные явления. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности.
45. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения жидкости от температуры
46. Кристаллические и аморфные состояния. Кристаллы. Понятие симметрии и анизотропии. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Физические типы кристаллов.
47. Тепловое движение в кристаллах, закон Дюлонга и Пти. Теплоемкость твердого тела при низких температурах. Фундаментальные трудности классической теории теплоемкости.
48. Фаза и фазовое равновесие. Фазовые переходы первого. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Скрытая теплота перехода.
49. Фазовые переходы второго рода. Примеры.
50. Диаграммы состояний Тройная точка. Аномалии теплового расширения при фазовых переходах.
51. Явления переноса. Диффузия: закон Фика. Внутреннее трение (перенос импульса): закон Ньютона - Стокса. Теплопроводность: закон Фурье.
52. Уравнение переноса. Явление переноса в газах. Связь между коэффициентами переноса и их зависимость от температуры и давления.

**Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины  
(модуля) «Молекулярная физика»**

№№ п/п	Вид занятия (лк,пр,с.р.)	Наименование необходимой учебной литературы по дисциплине	Автор	Издательство, год издания	Наличие лит-ры
<b>Основная литература</b>					
1	лк,пр,с/р	Курс общий физики. Т. 1-3	Зисман Г.А, Тодес О.М.	М.: Наука, 1972г	Библиотека ИнГГУ
2	лк,пр,с/р	Общий курс физики. Т. 1-5.	Сивухин Д.В.	М.: Высшая школа, 1996г.	Библиотека ИнГГУ
3	лк,пр,с/р	Курс общей физики. Т. 1-3	Савельев М..В.	М: Наука, 1989г.	Библиотека ИнГГУ
4	лк,пр,с/р	Молекулярная физика.	Кикоин И.К., Кикоин А.К.	М.: Наука, 1976г.	Библиотека ИнГГУ

5	лк,пр,с/р	Курс общей физики.	Трофимова Т.И.	М.: Высшая школа, 2005г.	Библиотека ИнГГУ
<b>Дополнительная литература</b>					
1	С/р	Курс физики.	Детлаф А.А., Яворский Б.М.	М.: Высшая школа, 1989.	Библиотека ИнГГУ
2	С/р	Молекулярная физика	Матвеев А.Н.	М.: Высшая школа, 1986г.	Библиотека ИнГГУ
3	С/р	Молекулярная физика	Телеснин Р.В.	М.: Наука, 1976г.	Библиотека ИнГГУ
4	С/р	Статистическая физика	Рейф Ф.	М.: Наука, 1976г.	Библиотека ИнГГУ
<b>Сборники задач по курсу общей физики</b>					
1	Пр, с/р	Сборник задач по общей физике	Волькенштейн Г.С.	М.: Высшая школа, 1986.	Каф. общ.физ.
2	Пр, с/р	Задачник по физике	Чертов Л. Г., Воробьев А. А.	М.: Высшая школа, 1986.	Каф. общ.физ.
3	Пр, с/р	Задачи по общей физике.	Иродов И. Е.	М.: Наука, 1998.	Каф. общ.физ.
<b>Интернет-ресурсы</b> <a href="http://fizrast.ru/sitemap.html">http://fizrast.ru/sitemap.html</a> <a href="http://www.don-agro.ru">http://www.don-agro.ru</a> <a href="http://xn-80abucjiibhv9a.xn-plai/">http://xn-80abucjiibhv9a.xn-plai/</a> <a href="http://www.agroxxi.ru/">http://www.agroxxi.ru/</a> (РГБ) <a href="http://elibrary.rsl.ru">http://elibrary.rsl.ru</a> Научная электронная библиотека <a href="http://elibrary.ru/default.asp">http://elibrary.ru/default.asp</a> Российская национальная библиотека <a href="http://primo.nl.ru">http://primo.nl.ru</a> <a href="http://nbmgu.ru">http://nbmgu.ru</a> Электронная библиотека Российской государственной библиотеки					

Рабочая программа дисциплины «Молекулярная физика» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «7» августа 2020 г. № 891.

Программу составила: Доцент кафедры «Физика» Торшхоева З.С.  
(Ф.И.О., должность, подпись)

Программа одобрена на заседании кафедры «Физика»  
Протокол № 8 от « 11 » марта 2025 года

Программа одобрена Учебно-методическим советом физико-математического факультета  
Протокол № 7 от « 13 » марта 2025 года

**Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год и регистрации изменений**

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата)	Внесенные изменения	Подпись зав. кафедрой