

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: ЧУМАЧЕНКО ТАТЬЯНА АЛЕКСАНДРОВНА  
Должность: РЕКТОР  
Дата подписания: 24.10.2022 14:01:24  
Уникальный программный ключ:  
9c9f7aaffa4840d284abe156657b8f85432bdb16



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ЮУрГПУ»)

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
(ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА)

Шифр	Наименование дисциплины (модуля)
Б1.В	Основы теоретической физики (статистическая физика и термодинамика)

Код направления подготовки	44.03.05
Направление подготовки	Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)
Наименование (я) ОПОП (направленность / профиль)	Физика. Математика
Уровень образования	бакалавр
Форма обучения	очная

Разработчики:

Должность	Учёная степень, звание	Подпись	ФИО
Доцент	кандидат физико-математических наук, доцент		Свирская Людмила Моисеевна

Рабочая программа рассмотрена и одобрена (обновлена) на заседании кафедры (структурного подразделения)

Кафедра	Заведующий кафедрой	Номер протокола	Дата протокола	Подпись
Кафедра физики и методики обучения физике	Беспаль Ирина Ивановна	10	15.06.2019	
Кафедра физики и методики обучения физике	Беспаль Ирина Ивановна	1	10.09.2020	

**Раздел 1. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения образовательной программы с указанием этапов их формирования**

Таблица 1 - Перечень компетенций, с указанием образовательных результатов в процессе освоения дисциплины (в соответствии с РПД)

<b>Формируемые компетенции</b>		<b>Планируемые образовательные результаты по дисциплине</b>		
<b>Индикаторы ее достижения</b>		<b>знатъ</b>	<b>уметь</b>	<b>владеть</b>
ПК-1 способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по преподаваемому предмету в профессиональной деятельности				
ПК.1.1 Знает содержание, особенности и современное состояние, понятия и категории, тенденции развития соответствующей профилю научной (предметной) области; закономерности, определяющие место соответствующей науки в общей картине мира; принципы проектирования и реализации общего и (или) дополнительного образования по предмету в соответствии с профилем обучения	3.1 1.1 основные понятия, принципы, законы и уравнения статистической термодинамики, этапы её становления и развития; границы применимости законов ТД			
ПК.1.2 Умеет применять базовые научно-теоретические знания по предмету и методы исследования в предметной области; осуществляет отбор содержания, методов и технологий обучения предмету (предметной области) в различных формах организации образовательного процесса		У.1 анализировать содержание физических теорий и законов, вскрывать физический смысл содержащихся в них уравнений и соотношений; устанавливать взаимосвязь термодинамики и статистики, вскрывать микроскопический смысл термодинамических параметров и законов		
ПК.1.3 Владеет практическими навыками в предметной области, методами базовых научно-теоретических представлений для решения профессиональных задач			В.1 методами решения задач с применением равновесных статистических распределений и законов термодинамики; способами изложения изучаемых вопросов на доступном для обучающихся уровне	

Компетенции связаны с дисциплинами и практиками через матрицу компетенций согласно таблице 2.

Таблица 2 - Компетенции, формируемые в результате обучения

<b>Код и наименование компетенции</b>	<b>Вес дисциплины в формировании компетенции (100 / количество дисциплин, практик)</b>
Составляющая учебного плана (дисциплины, практики, участвующие в формировании компетенции)	
ПК-1 способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по преподаваемому предмету в профессиональной деятельности	

Дискретная математика	2,38
Математическая логика	2,38
Математический анализ	2,38
Численные методы	2,38
производственная практика (преддипломная)	2,38
Электротехника	2,38
Алгебра	2,38
Астрономия	2,38
Геометрия	2,38
Математическая физика	2,38
Методика обучения и воспитания (математика)	2,38
Методика обучения и воспитания (физика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (квантовая физика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (механика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (оптика)	2,38
Общая и экспериментальная физика (электричество и магнетизм)	2,38
Основания геометрии	2,38
Основы теоретической физики (квантовая механика)	2,38
Основы теоретической физики (классическая механика)	2,38
<b>Основы теоретической физики (статистическая физика и термодинамика)</b>	<b>2,38</b>
Основы теоретической физики (СТО)	2,38
Основы теоретической физики (физика атомного ядра и элементарных частиц)	2,38
Основы теоретической физики (физика твердого тела)	2,38
Основы теоретической физики (электродинамика)	2,38
Теория чисел	2,38
Школьный физический кабинет	2,38
Элементарная математика	2,38
Вводный курс математики	2,38
Дифференциальные уравнения	2,38
Практикум по тригонометрии	2,38
Практикум по элементарной алгебре	2,38
Практикум по элементарной геометрии	2,38
Проективная геометрия	2,38
Методы статистической обработки информации	2,38
Образовательная электроника	2,38
Общая и экспериментальная физика (молекулярная)	2,38
Основы электроники	2,38
Теория функций комплексного и действительного переменного	2,38
учебная практика (по математике)	2,38
учебная практика (по физике)	2,38
учебная практика (проектно-исследовательская)	2,38
Химия	2,38

Таблица 3 - Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОПОП

Код компетенции	Этап базовой подготовки	Этап расширения и углубления подготовки	Этап профессионально-практической подготовки
-----------------	-------------------------	---	--

ПК-1	<p><b>Дискретная математика, Математическая логика, Математический анализ, Численные методы, производственная практика (преддипломная), Электротехника, Алгебра, Астрономия, Геометрия, Математическая физика, Методика обучения и воспитания (математика), Методика обучения и воспитания (физика), Общая и экспериментальная физика (квантовая физика), Общая и экспериментальная физика (механика), Общая и экспериментальная физика (оптика), Общая и экспериментальная физика (электричество и магнетизм), Основания геометрии, Основы теоретической физики (квантовая механика), Основы теоретической физики (классическая механика), Основы теоретической физики (статистическая физика и термодинамика), Основы теоретической физики (СТО), Основы теоретической физики (физика атомного ядра и элементарных частиц), Основы теоретической физики (физика твердого тела), Основы теоретической физики (электродинамика), Теория чисел, Школьный физический кабинет, Элементарная математика, Вводный курс математики, Дифференциальные уравнения, Практикум по тригонометрии, Практикум по элементарной алгебре, Практикум по элементарной геометрии, Проективная геометрия, Методы статистической обработки информации, Образовательная электроника, Общая и экспериментальная физика (молекулярная), Основы электроники, Теория функций комплексного и действительного переменного, учебная практика (по математике), учебная практика (по физике), учебная практика</b></p>		<p>производственная практика (преддипломная), учебная практика (по математике), учебная практика (по физике), учебная практика (проектно-исследовательская )</p>
------	--	--	--



**Раздел 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

Таблица 4 - Показатели оценивания компетенций на различных этапах их формирования в процессе освоения учебной дисциплины (в соответствии с РПД)

№	Раздел			
Формируемые компетенции		Показатели сформированности (в терминах «знать», «уметь», «владеть»)		Виды оценочных средств
1	Основы статистической физики равновесных систем			
	ПК-1	Знать 1.1 основные понятия, принципы, законы и уравнения статистической термодинамики, этапы её становления и развития; границы применимости законов ТД		Задача Коллоквиум Контрольная работа по разделу/теме
		Уметь анализировать содержание физических теорий и законов, вскрывать физический смысл содержащихся в них уравнений и соотношений; устанавливать взаимосвязь термодинамики и статистики, вскрывать микроскопический смысл термодинамических параметров и законов		Задача Коллоквиум Контрольная работа по разделу/теме
		Владеть методами решения задач с применением равновесных статистических распределений и законов термодинамики; способами изложения изучаемых вопросов на доступном для обучающихся уровне		Задача Контрольная работа по разделу/теме
2	Статистическая термодинамика			
	ПК-1	Знать 1.1 основные понятия, принципы, законы и уравнения статистической термодинамики, этапы её становления и развития; границы применимости законов ТД		Задача Коллоквиум Контрольная работа по разделу/теме Отчет по лабораторной работе
		Уметь анализировать содержание физических теорий и законов, вскрывать физический смысл содержащихся в них уравнений и соотношений; устанавливать взаимосвязь термодинамики и статистики, вскрывать микроскопический смысл термодинамических параметров и законов		Задача Коллоквиум Контрольная работа по разделу/теме Отчет по лабораторной работе
		Владеть методами решения задач с применением равновесных статистических распределений и законов термодинамики; способами изложения изучаемых вопросов на доступном для обучающихся уровне		Задача Контрольная работа по разделу/теме

Таблица 5 - Описание уровней и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Код	Содержание компетенции				
Уровни освоения компетенции	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня (критерии оценки сформированности)	Пятибалльная шкала (академическая оценка)	% освоения (рейтинговая оценка)	
ПК-1	ПК-1 способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по преподаваемому предмету в профессиональной деят...				

**Раздел 3. Типовые контрольные задания и (или) иные материалы, необходимые для оценки планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

**1. Оценочные средства для текущего контроля**

Раздел: Основы статистической физики равновесных систем

**Задания для оценки знаний**

**1. Задача:**

Задачи самостоятельной работы № 1

1. Вычислить статистический интеграл для идеального газа, содержащего  $N$  частиц, и занимающего объём  $V$ . Масса каждой частицы равна  $m$ .
2. Определить фазовую траекторию линейного гармонического осциллятора с малым трением, считая силу трения пропорциональной скорости.
3. Оцените наиболее вероятную, среднюю и среднеквадратичную скорости атомов гелия при комнатной температуре ( $T \sim 300$  К). Каков физический смысл каждой из этих скоростей?
4. Подсчитайте число частиц идеального газа, скорости которых заключены в интервале от 0 до половины наиболее вероятной.
5. Установить связь между давлением идеального газа и концентрацией частиц. Учитывая выражение для среднеквадратичной скорости, получить уравнение состояния идеального газа.
6. Установить вид функции распределения газа фотонов, используя преобразование частоты в эффекте Доплера.
7. Для определения числа Авогадро Перрен исследовал распределение по высоте взвешенных в жидкости зёрен гуммигута (дерево на Цейлоне) в однородном поле силы тяжести. Он нашёл, что при температуре 293 К при поднятии вверх на высоту в 100 мкм число взвешенных частиц уменьшается в два раза. Частицы гуммигута имели диаметр 0.00003 см; плотность жидкости на 0.2 г/см<sup>3</sup> меньше плотности частиц. Определить по этим данным значение числа Авогадро.
8. Считая справедливой для атмосферы (в первом приближении) барометрическую формулу, найти, на какой высоте при температуре 273 К давление воздуха уменьшается втрое. Относительную молярную массу воздуха считать равной 29.
9. Какая доля молекул кислорода земной атмосферы может преодолеть гравитационное поле Земли при температуре 300 К?
10. Определить среднее значение потенциальной энергии одной молекулы в равновесном столбе газа высотой  $H$ . Газ находится при температуре  $T$  в однородном поле силы тяжести с ускорением  $g$ .

**2. Коллоквиум:**

Коллоквиум № 1

1. Два метода исследования макроскопических процессов: феноменологическая термодинамика и статистическая физика.
2. Фазовое пространство. Функция статистического распределения в фазовом пространстве.
3. Метод ансамблей Гиббса. Эргодическая гипотеза.
4. Теорема Лиувилля.
5. Микроканоническое распределение Гиббса в классической и квантовой статистике.
6. Квазиклассическое описание в статистической физике.
7. Статистическое определение энтропии.
8. Каноническое распределение Гиббса в классической статистике.
9. Каноническое распределение Гиббса в квантовой статистике.
10. Статистическая сумма (статистический интеграл) и её связь со свободной энергией.
11. Большое каноническое распределение.
12. Распределение Максвелла (распределение молекул идеального газа по скоростям).
13. Распределение Больцмана по координатам в однородном силовом поле. Барометрическая формула.
14. Распределение Ферми-Дирака.
15. Распределение Бозе-Эйнштейна.
16. Промежуточная квантовая статистика. Функция распределения Джентиле.
17. Сопоставление статистик Ферми-Дирака, Бозе-Эйнштейна и Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения.

**3. Контрольная работа по разделу/теме:**

Контрольная работа № 1  
ВАРИАНТ 1

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов гелия ( $\mu = 4.0026$  г/моль) при температуре 273 К.
2. Какая часть молекул газа имеет скорость, превышающую среднюю тепловую скорость.
3. Определить среднее значение потенциальной энергии линейного гармонического осциллятора в состоянии статистического равновесия, подчиняющегося распределению Больцмана.

**ВАРИАНТ №2**

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов неона ( $\mu = 20.18$  г/моль) при температуре 273 К.
2. Какая часть молекул газа имеет скорость, заключенную между половинным и удвоенным значениями наиболее вероятной скорости.
3. Определить среднюю высоту частиц газа, находящегося в столбе высотой  $L$  в поле силы тяжести.

**ВАРИАНТ 3**

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов аргона ( $\mu = 39.9$  г/моль) при температуре 273 К.
2. Найти, какая часть молекул газа имеет модуль скорости меньше средней.
3. Найти среднюю потенциальную энергию молекулы идеального газа, находящегося в центрифуге радиуса  $R$ , вращающейся с постоянной угловой скоростью  $\omega$ .

**ВАРИАНТ 4**

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов криптона ( $\mu = 83.8$  г/моль) при температуре 273 К.
2. Найти, какая часть молекул газа имеет скорость, превышающую наиболее вероятную.
3. В газовой центрифуге радиуса  $R$ , вращающейся с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , производится разделение смеси газов, молекулы которых имеют массы  $m_1$  и  $m_2$ . Найти коэффициент разделения.

**Задания для оценки умений**

**1. Задача:**

Задачи самостоятельной работы № 1

1. Вычислить статистический интеграл для идеального газа, содержащего  $N$  частиц, и занимающего объём  $V$ . Масса каждой частицы равна  $m$ .
2. Определить фазовую траекторию линейного гармонического осциллятора с малым трением, считая силу трения пропорциональной скорости.
3. Оцените наиболее вероятную, среднюю и среднеквадратичную скорости атомов гелия при комнатной температуре ( $T \sim 300$  К). Каков физический смысл каждой из этих скоростей?
4. Подсчитайте число частиц идеального газа, скорости которых заключены в интервале от 0 до половины наиболее вероятной.
5. Установить связь между давлением идеального газа и концентрацией частиц. Учитывая выражение для среднеквадратичной скорости, получить уравнение состояния идеального газа.
6. Установить вид функции распределения газа фотонов, используя преобразование частоты в эффекте Доплера.
7. Для определения числа Авогадро Перрен исследовал распределение по высоте взвешенных в жидкости зёрен гуммигута (дерево на Цейлоне) в однородном поле силы тяжести. Он нашёл, что при температуре 293 К при поднятии вверх на высоту в 100 мкм число взвешенных частиц уменьшается в два раза. Частицы гуммигута имели диаметр 0.00003 см; плотность жидкости на 0.2 г/см<sup>3</sup> меньше плотности частиц. Определить по этим данным значение числа Авогадро.
8. Считая справедливой для атмосферы (в первом приближении) барометрическую формулу, найти, на какой высоте при температуре 273 К давление воздуха уменьшается втрое. Относительную молярную массу воздуха считать равной 29.
9. Какая доля молекул кислорода земной атмосферы может преодолеть гравитационное поле Земли при температуре 300 К?
10. Определить среднее значение потенциальной энергии одной молекулы в равновесном столбе газа высотой  $H$ . Газ находится при температуре  $T$  в однородном поле силы тяжести с ускорением  $g$ .

**2. Коллоквиум:**

Коллоквиум № 1

1. Два метода исследования макроскопических процессов: феноменологическая термодинамика и статистическая физика.
2. Фазовое пространство. Функция статистического распределения в фазовом пространстве.
3. Метод ансамблей Гиббса. Эргодическая гипотеза.
4. Теорема Лиувилля.
5. Микроканоническое распределение Гиббса в классической и квантовой статистике.
6. Квазиклассическое описание в статистической физике.
7. Статистическое определение энтропии.
8. Каноническое распределение Гиббса в классической статистике.

9. Каноническое распределение Гиббса в квантовой статистике.
10. Статистическая сумма (статистический интеграл) и её связь со свободной энергией.
11. Большое каноническое распределение.
12. Распределение Максвелла (распределение молекул идеального газа по скоростям).
13. Распределение Больцмана по координатам в однородном силовом поле. Барометрическая формула.
14. Распределение Ферми-Дирака.
15. Распределение Бозе-Эйнштейна.
16. Промежуточная квантовая статистика. Функция распределения Джентиле.
17. Сопоставление статистик Ферми-Дирака, Бозе-Эйнштейна и Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения.

### **3. Контрольная работа по разделу/теме:**

Контрольная работа № 1

#### **ВАРИАНТ 1**

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов гелия ( $\mu = 4.0026 \text{ г/моль}$ ) при температуре 273 К.
2. Какая часть молекул газа имеет скорость, превышающую среднюю тепловую скорость.
3. Определить среднее значение потенциальной энергии линейного гармонического осциллятора в состоянии статистического равновесия, подчиняющегося распределению Больцмана.

#### **ВАРИАНТ №2**

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов неона ( $\mu = 20.18 \text{ г/моль}$ ) при температуре 273 К.
2. Какая часть молекул газа имеет скорость, заключенную между половинным и удвоенным значениями наиболее вероятной скорости.
3. Определить среднюю высоту частиц газа, находящегося в столбе высотой  $L$  в поле силы тяжести.

#### **ВАРИАНТ 3**

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов аргона ( $\mu = 39.9 \text{ г/моль}$ ) при температуре 273 К.
2. Найти, какая часть молекул газа имеет модуль скорости меньше средней.
3. Найти среднюю потенциальную энергию молекулы идеального газа, находящегося в центрифуге радиуса  $R$ , вращающейся с постоянной угловой скоростью  $\omega$ .

#### **ВАРИАНТ 4**

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов криптона ( $\mu = 83.8 \text{ г/моль}$ ) при температуре 273 К.
2. Найти, какая часть молекул газа имеет скорость, превышающую наиболее вероятную.
3. В газовой центрифуге радиуса  $R$ , вращающейся с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , производится разделение смеси газов, молекулы которых имеют массы  $m_1$  и  $m_2$ . Найти коэффициент разделения.

### **Задания для оценки владений**

#### **1. Задача:**

Задачи самостоятельной работы № 1

1. Вычислить статистический интеграл для идеального газа, содержащего  $N$  частиц, и занимающего объём  $V$ . Масса каждой частицы равна  $m$ .
2. Определить фазовую траекторию линейного гармонического осциллятора с малым трением, считая силу трения пропорциональной скорости.
3. Оцените наиболее вероятную, среднюю и среднеквадратичную скорости атомов гелия при комнатной температуре ( $T \sim 300 \text{ К}$ ). Каков физический смысл каждой из этих скоростей?
4. Подсчитайте число частиц идеального газа, скорости которых заключены в интервале от 0 до половины наиболее вероятной.
5. Установить связь между давлением идеального газа и концентрацией частиц. Учитывая выражение для среднеквадратичной скорости, получить уравнение состояния идеального газа.
6. Установить вид функции распределения газа фотонов, используя преобразование частоты в эффекте Доплера.
7. Для определения числа Авогадро Перрен исследовал распределение по высоте взвешенных в жидкости зёрен гуммигута (дерево на Цейлоне) в однородном поле силы тяжести. Он нашёл, что при температуре 293 К при поднятии вверх на высоту в 100 мкм число взвешенных частиц уменьшается в два раза. Частицы гуммигута имели диаметр 0.00003 см; плотность жидкости на 0.2 г/см<sup>3</sup> меньше плотности частиц. Определить по этим данным значение числа Авогадро.
8. Считая справедливой для атмосферы (в первом приближении) барометрическую формулу, найти, на какой высоте при температуре 273 К давление воздуха уменьшается втрое. Относительную молярную массу воздуха считать равной 29.
9. Какая доля молекул кислорода земной атмосферы может преодолеть гравитационное поле Земли при температуре 300 К?

10. Определить среднее значение потенциальной энергии одной молекулы в равновесном столбе газа высотой  $H$ . Газ находится при температуре  $T$  в однородном поле силы тяжести с ускорением  $g$ .

## 2. Контрольная работа по разделу/теме:

Контрольная работа № 1

ВАРИАНТ 1

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов гелия ( $\mu = 4.0026 \text{ г/моль}$ ) при температуре 273 К.
2. Какая часть молекул газа имеет скорость, превышающую среднюю тепловую скорость.
3. Определить среднее значение потенциальной энергии линейного гармонического осциллятора в состоянии статистического равновесия, подчиняющегося распределению Больцмана.

ВАРИАНТ №2

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов неона ( $\mu = 20.18 \text{ г/моль}$ ) при температуре 273 К.
2. Какая часть молекул газа имеет скорость, заключенную между половинным и удвоенным значениями наиболее вероятной скорости.
3. Определить среднюю высоту частиц газа, находящегося в столбе высотой  $L$  в поле силы тяжести.

ВАРИАНТ 3

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов аргона ( $\mu = 39.9 \text{ г/моль}$ ) при температуре 273 К.
2. Найти, какая часть молекул газа имеет модуль скорости меньше средней.
3. Найти среднюю потенциальную энергию молекулы идеального газа, находящегося в центрифуге радиуса  $R$ , вращающейся с постоянной угловой скоростью  $\omega$ .

ВАРИАНТ 4

1. Определить среднеквадратичную скорость атомов криптона ( $\mu = 83.8 \text{ г/моль}$ ) при температуре 273 К.
2. Найти, какая часть молекул газа имеет скорость, превышающую наиболее вероятную.
3. В газовой центрифуге радиуса  $R$ , вращающейся с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , производится разделение смеси газов, молекулы которых имеют массы  $m_1$  и  $m_2$ . Найти коэффициент разделения.

Раздел: Статистическая термодинамика

### Задания для оценки знаний

#### 1. Задача:

Задачи самостоятельной работы № 2

1. Изобразить для идеального газа изотермический, изобарический, изохорный и адиабатический процессы в координатах:  
а)  $P, V$ ; б)  $P, T$ ; в)  $U, T$ .
2. Используя условие  $TdS = dU + pdV$  и выражения для полных дифференциалов четырех термодинамических потенциалов, показать, что при стремлении системы к равновесию все термодинамические функции ( $U, F, H, \Phi$ ) убывают и достигают минимума в состоянии термодинамического равновесия.
3. Вычислить основные термодинамические величины для идеального газа, содержащего  $N$  частиц.
4. Найти изменение энтропии  $\Delta S$  при нагревании воды массой  $m = 100 \text{ г}$  от температуры  $t_1 = 0 \text{ С}$  до температуры  $t_2 = 100 \text{ С}$  и последующем превращении воды в пар той же температуры.
5. Один моль идеального двухатомного газа находится под давлением  $p_1 = 250 \text{ кПа}$  и занимает объём  $V_1 = 10 \text{ л}$ . Сначала газ изохорически нагревают до температуры  $T_2 = 400 \text{ К}$ . Затем изотермически расширяя, доводят его до первоначального давления. После этого путём изобарического сжатия возвращают газ в начальное состояние. Определить к.п.д.  $\eta$  цикла.
6. Определить к.п.д обратимого цикла Карно с равновесным излучением в качестве рабочего вещества. Согласуется ли полученный результат с первой теоремой Карно?
7. Обосновать поведение модели «Птичка Хоттабыча» на основе II начала термодинамики.
8. Коэффициент объемного расширения воды при  $4 \text{ С}$  изменяет знак: в интервале от  $0$  до  $4 \text{ С}$  он является отрицательным. Показать, что в этом интервале температур вода при адиабатном сжатии охлаждается, а не нагревается, как другие жидкости и все газы.
9. Вычислить изменение энтропии при смешении двух равных масс одного и того же идеального газа, находящихся первоначально а) при одинаковом давлении  $p$  и различных температурах; б) при одинаковой температуре  $T$  и различных давлениях. Определить область изменения  $S$  в обоих случаях.
10. Жидкий гелий  $\text{He II}$  ведет себя как «смесь» двух жидкостей - сверхтекучей ( $S = 0$ , вязкость равна нулю) и нормальной. Если в сосудах, соединенных капилляром и заполненных  $\text{He II}$ , создать разность температур ( $T_2 - T_1$ ), то это вызовет в них разность давлений ( $P_2 - P_1$ ). Объясните это явление и установите связь между разностью давлений и разностью температур.

Задачи самостоятельной работы № 3

1. Провести сопоставление фазовых переходов I и II рода.
2. Объяснить физический смысл поправок в уравнении Ван-дер-Ваальса.

3. Составить сравнительную таблицу характеристик ферми- и бозе – газа.
4. Используя формулу Рэлея для интенсивности молекулярного рассеяния света, объяснить голубой цвет неба и красный цвет зорь.
5. Что такое броуновское движение? Вывести формулу Эйнштейна-Смолуховского для смещения броуновской частицы.
6. При какой концентрации электронов с температурой 100000 К можно пользоваться статистикой Максвелла-Больцмана?
7. Определить температуру бозе-конденсации в случае изотопа гелия – 4, если известно, что спин атомов гелия равен нулю, а молярный объём составляет 27,6 см 3.
8. В баллоне объёмом  $V=8$  л находится кислород массой  $m = 0,3$  кг при температуре  $T=300$  К. Определить:
  - а) какую часть объёма сосуда составляет собственный объём молекул газа;
  - б) отношение внутреннего давления к давлению газа на стенки сосуда.
9. Методом термодинамических функций исследовать изменение температуры газа при адиабатическом дросселировании в эффекте Джоуля-Томсона для водорода и гелия. Определить температуру инверсии.
10. На основе зависимости среднего значения квадрата смещения броуновской частицы от времени, полученной в результате компьютерного эксперимента, определить коэффициент диффузии и подвижность броуновских частиц (с помощью уравнения Эйнштейна). В эксперименте наблюдалась диффузия броуновских частиц в воде, температура воды 330 К, радиус броуновских частиц 0.1 мкм.

## 2. Коллоквиум:

### Коллоквиум № 2

1. Внутренняя энергия системы, теплота, работа. Микроскопический смысл теплоты и работы.
2. Первый закон термодинамики.
3. Термодинамическое определение температуры. Нулевое начало термодинамики.
4. Границы применимости молекулярно-кинетического определения температуры.
5. Абсолютный нуль температуры как температура, соответствующая наименьшему возможному значению энергии.
6. Абсолютные отрицательные температуры.
7. Уравнения основных термодинамических процессов. Термическое и калорическое уравнения состояния.
8. Второй закон термодинамики для обратимых и необратимых процессов.
9. Цикл Карно. Теоремы Карно.
10. Закон возрастания энтропии в замкнутой системе.
11. Статистический смысл второго начала термодинамики. Границы применимости второго начала термодинамики.
12. Термодинамические потенциалы (внутренняя энергия, свободная энергия, энталпия, термодинамический потенциал Гиббса) и их физический смысл.
13. Химический потенциал.
14. Соотношения взаимности Максвелла.
15. Третий закон термодинамики (тепловая теорема Нернста) и его статистическое обоснование.
16. Недостижимость абсолютного нуля температуры. Свойства вещества вблизи абсолютного нуля.

### Коллоквиум № 3

1. Условия равновесия двух фаз.
2. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса и его следствия.
3. Температурная зависимость давления насыщенного пара.
4. Равновесие трёх фаз вещества. Тройная точка. Правило фаз Гиббса.
5. Фазовые переходы I и II рода.
6. Термодинамические функции и уравнение состояния классического идеального газа.
7. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
8. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы в классической статистике.
9. Классическая теория теплоемкости идеальных газов и её противоречие III началу термодинамики.
10. Квантовая теория теплоёмкости идеальных газов.
11. Свободные электроны в металле как вырожденный ферми-газ.
12. Равновесное излучение как фотонный газ. Законы излучения абсолютно чёрного тела.
13. Явление конденсации в вырожденном бозе-газе.
14. Флуктуации и броуновское движение.

## 3. Контрольная работа по разделу/теме:

### Контрольная работа № 2

#### Вариант 1

1. Определить к.п.д. цикла Стирлинга, состоящего из двух изотерм и двух изохор, для 1 моля идеального газа. Сравнить его с к.п.д. цикла Карно с теми же температурами.

2. Определить изменение энтропии при изотермическом расширении кислорода массой 10 г от объёма 25 л до объёма 100 л.
3. Используя табличное значение для концентрации электронов в меди, установить, при какой температуре происходит переход электронного газа от невырожденного к вырожденному при данной концентрации. Является ли газ вырожденным с данной концентрацией при комнатной температуре?

Вариант 2

1. Определить к.п.д. цикла Ленуара, состоящего из изохорного, адиабатного и изобарного процессов для 1 моля идеального газа. Выразить к.п.д. сначала через температуры, а затем через параметр цикла .
2. Газ А объёмом 3м3 диффундирует в другой газ В с тем же объёмом 3 м3 при постоянном общем давлении Р=2 атм и температуре 0С. Вычислить прирост энтропии, считая газ идеальным. (Учесть: в нормальных условиях при Р=1атм объём 1моля составляет 0,0224 м3).
3. Концентрация электронов в серебре  $n=5.85 \cdot 10^{28}$  м-3. Определить температуру вырождения электронного газа. Является ли газ с такой концентрацией вырожденным при комнатной температуре?

Вариант 3

1. В двигателе внутреннего сгорания, работающем по циклу Отто, горючая смесь, вошедшая в цилиндр, адиабатно сжимается; воспламенённая искрой, изохорно сгорает; адиабатно расширяется и выбрасывается в атмосферу. Работа производится не за счёт теплоты извне, а за счёт внутренней энергии рабочего вещества (горючей смеси).

Определить к.п.д. двигателя и выразить его сначала через  $T_1, T_2, T_3, T_4$ , а затем через параметр цикла – степень сжатия газа.

2. Найти изменение энтропии при смешении двух равных масс одного и того же идеального газа, находящихся до смешения при одинаковом давлении Р и различных температурах  $T_1$  и  $T_2$ .

3. Определить температуру вырождения электронного газа в золоте, если концентрация электронов  $n=5.9 \cdot 10^{28}$  м-3. Является ли газ с данной концентрацией вырожденным при комнатной температуре?

Вариант 4

1. Двигатель внутреннего сгорания, работающий по циклу Дизеля, включает следующие процессы: адиабатное сжатие атмосферного воздуха, изобарное расширение (впрыскивание горючей смеси и её сгорание), адиабатическое расширение, изохорное охлаждение. Определить к.п.д. сначала через  $T_1, T_2, T_3, T_4$ , а затем через параметры цикла: степень сжатия и степень предварительного расширения .

2. Кислород занимает объём  $V_1 = 1$  м3 и находится под давлением  $P_1 = 200$  Па. Газ нагрели сначала при постоянном давлении до объёма  $V_2 = 3$  м3, а затем при постоянном объёме до давления  $P_2 = 500$  Па. Найти:

- 1) изменение внутренней энергии газа;
- 2) совершённую им работу ;
- 3) количество теплоты  $Q$ , переданное газу.

3. Определить температуру вырождения электронного газа в цезии, если концентрация электронов равна  $0.91 \cdot 10^{28}$  м-3. Является ли газ с заданной концентрацией вырожденным при комнатной температуре?

ИТОГОВАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА СОДЕРЖИТСЯ В ПРИСОЕДИНЁННОМ ФАЙЛЕ.

#### 4. Отчет по лабораторной работе:

1. В чём заключается статистическая природа необратимости процессов в макросистемах?
2. Получить решение кинетического уравнения для модели изолированной двухуровневой системы, определить время релаксации.
3. Используя кинетическое уравнение для модели изолированной двухуровневой системы, доказать, что энтропия монотонно возрастает и достигает максимума в состоянии статистического равновесия.
4. Установить связь между температурой системы и отношением населённостей энергетических уровней.
5. Показать, что системы с абсолютной отрицательной температурой существуют только в случае ограниченного энергетического спектра.
6. Дать объяснение графиков, полученных в компьютерном эксперименте.

#### Задания для оценки умений

##### 1. Задача:

Задачи самостоятельной работы № 2

1. Изобразить для идеального газа изотермический, изобарический, изохорный и адиабатический процессы в координатах:
  - $P, V$ ;
  - $P, T$ ;
  - $U, T$ .
2. Используя условие  $TdS - dU + pdV$  и выражения для полных дифференциалов четырех термодинамических потенциалов, показать, что при стремлении системы к равновесию все термодинамические функции ( $U, F, H, \Phi$ ) убывают и достигают минимума в состоянии термодинамического равновесия.
3. Вычислить основные термодинамические величины для идеального газа, содержащего  $N$  частиц.
4. Найти изменение энтропии  $\Delta S$  при нагревании воды массой  $m = 100$  г от температуры  $t_1 = 0$  С до температуры  $t_2 = 100$  С и последующем превращении воды в пар той же температуры.

5. Один моль идеального двухатомного газа находится под давлением  $p_1=250$  кПа и занимает объём  $V_1 = 10$  л. Сначала газ изохорически нагревают до температуры  $T_2 = 400$  К. Затем изотермически расширяя, доводят его до первоначального давления. После этого путём изобарического сжатия возвращают газ в начальное состояние. Определить к.п.д.  $\eta$  цикла.

6. Определить к.п.д обратимого цикла Карно с равновесным излучением в качестве рабочего вещества . Согласуется ли полученный результат с первой теоремой Карно?

7. Обосновать поведение модели «Птичка Хоттабыча» на основе II начала термодинамики.

8. Коэффициент объемного расширения воды при 4 °С изменяет знак: в интервале от 0 до 4 °С он является отрицательным. Показать, что в этом интервале температур вода при адиабатном сжатии охлаждается, а не нагревается, как другие жидкости и все газы.

9. Вычислить изменение энтропии при смешении двух равных масс одного и того же идеального газа, находящихся первоначально а) при одинаковом давлении  $p$  и различных температурах ; б) при одинаковой температуре  $T$  и различных давлениях . Определить область изменения  $S$  в обоих случаях.

10. Жидкий гелий Не II ведет себя как "смесь" двух жидкостей - сверхтекучей ( $S = 0$ , вязкость равна нулю) и нормальной. Если в сосудах, соединенных капиляром и заполненных Не II, создать разность температур ( $T_2 - T_1$  ), то это вызовет в них разность давлений ( $P_2 - P_1$  ) . Объясните это явление и установите связь между разностью давлений и разностью температур.

Задачи самостоятельной работы № 3

1. Провести сопоставление фазовых переходов I и II рода.

2. Объяснить физический смысл поправок в уравнении Ван-дер-Ваальса.

3. Составить сравнительную таблицу характеристик ферми- и бозе – газа.

4. Используя формулу Рэлея для интенсивности молекулярного рассеяния света, объяснить голубой цвет неба и красный цвет зорь.

5. Что такое броуновское движение? Вывести формулу Эйнштейна-Смолуховского для смещения броуновской частицы.

6. При какой концентрации электронов с температурой 100000 К можно пользоваться статистикой Максвелла-Больцмана?

7. Определить температуру бозе-конденсации в случае изотопа гелия – 4, если известно, что спин атомов гелия равен нулю, а молярный объём составляет 27,6 см 3.

8. В баллоне объёмом  $V=8$  л находится кислород массой  $m = 0,3$  кг при температуре  $T=300$  К. Определить:

а) какую часть объёма сосуда составляет собственный объём молекул газа;

б) отношение внутреннего давления к давлению газа на стенки сосуда.

9. Методом термодинамических функций исследовать изменение температуры газа при адиабатическом дросселировании в эффекте Джоуля-Томсона для водорода и гелия. Определить температуру инверсии.

10. На основе зависимости среднего значения квадрата смещения броуновской частицы от времени, полученной в результате компьютерного эксперимента, определить коэффициент диффузии и подвижность броуновских частиц (с помощью уравнения Эйнштейна). В эксперименте наблюдалась диффузия броуновских частиц в воде, температура воды 330 К, радиус броуновских частиц 0.1 мкм.

## 2. Коллоквиум:

Коллоквиум № 2

1. Внутренняя энергия системы, теплота, работа. Микроскопический смысл теплоты и работы.

2. Первый закон термодинамики.

3. Термодинамическое определение температуры. Нулевое начало термодинамики.

4. Границы применимости молекулярно-кинетического определения температуры.

5. Абсолютный нуль температуры как температура, соответствующая наименьшему возможному значению энергии.

6. Абсолютные отрицательные температуры.

7. Уравнения основных термодинамических процессов. Термическое и калорическое уравнения состояния.

8. Второй закон термодинамики для обратимых и необратимых процессов.

9. Цикл Карно. Теоремы Карно.

10. Закон возрастания энтропии в замкнутой системе.

11. Статистический смысл второго начала термодинамики. Границы применимости второго начала термодинамики.

12. Термодинамические потенциалы (внутренняя энергия, свободная энергия, энталпия, термодинамический потенциал Гиббса) и их физический смысл.

13. Химический потенциал.

14. Соотношения взаимности Максвелла.

15. Третий закон термодинамики (тепловая теорема Нернста) и его статистическое обоснование.

16. Недостижимость абсолютного нуля температуры. Свойства вещества вблизи абсолютного нуля.

Коллоквиум № 3

1. Условия равновесия двух фаз.

2. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса и его следствия.
3. Температурная зависимость давления насыщенного пара.
4. Равновесие трёх фаз вещества. Тройная точка. Правило фаз Гиббса.
5. Фазовые переходы I и II рода.
6. Термодинамические функции и уравнение состояния классического идеального газа.
7. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
8. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы в классической статистике.
9. Классическая теория теплоемкости идеальных газов и её противоречие III началу термодинамики.
10. Квантовая теория теплоёмкости идеальных газов.
11. Свободные электроны в металле как вырожденный ферми-газ.
12. Равновесное излучение как фотонный газ. Законы излучения абсолютно чёрного тела.
13. Явление конденсации в вырожденном бозе-газе.
14. Флуктуации и броуновское движение.

### **3. Контрольная работа по разделу/теме:**

Контрольная работа № 2

Вариант 1

1. Определить к.п.д. цикла Стирлинга, состоящего из двух изотерм и двух изохор, для 1 моля идеального газа. Сравнить его с к.п.д. цикла Карно с теми же температурами.
2. Определить изменение энтропии при изотермическом расширении кислорода массой 10 г от объёма 25 л до объёма 100 л.
3. Используя табличное значение для концентрации электронов в меди, установить, при какой температуре происходит переход электронного газа от невырожденного к вырожденному при данной концентрации. Является ли газ вырожденным с данной концентрацией при комнатной температуре?

Вариант 2

1. Определить к.п.д. цикла Ленуара, состоящего из изохорного, адиабатного и изобарного процессов для 1 моля идеального газа. Выразить к.п.д. сначала через температуры, а затем через параметр цикла .
2. Газ А объёмом 3м3 диффундирует в другой газ В с тем же объёмом 3 м3 при постоянном общем давлении Р=2 атм и температуре 0С. Вычислить прирост энтропии, считая газ идеальным. (Учесть: в нормальных условиях при Р=1атм объём 1моля составляет 0,0224 м3).
3. Концентрация электронов в серебре  $n=5.85 \cdot 10^{28}$  м-3. Определить температуру вырождения электронного газа. Является ли газ с такой концентрацией вырожденным при комнатной температуре?

Вариант 3

1. В двигателе внутреннего сгорания, работающем по циклу Отто, горючая смесь, вошедшая в цилиндр, адиабатно сжимается; воспламенённая искрой, изохорно сгорает; адиабатно расширяется и выбрасывается в атмосферу. Работа производится не за счёт теплоты извне, а за счёт внутренней энергии рабочего вещества (горючей смеси).

Определить к.п.д. двигателя и выразить его сначала через  $T_1, T_2, T_3, T_4$ , а затем через параметр цикла – степень сжатия газа.

2. Найти изменение энтропии при смешении двух равных масс одного и того же идеального газа, находящихся до смешения при одинаковом давлении Р и различных температурах  $T_1$  и  $T_2$ .

3. Определить температуру вырождения электронного газа в золоте, если концентрация электронов  $n=5.9 \cdot 10^{28}$  м-3. Является ли газ с данной концентрацией вырожденным при комнатной температуре?

Вариант 4

1. Двигатель внутреннего сгорания, работающий по циклу Дизеля, включает следующие процессы: адиабатное сжатие атмосферного воздуха, изобарное расширение (впрыскивание горючей смеси и её сгорание), адиабатическое расширение, изохорное охлаждение. Определить к.п.д. сначала через  $T_1, T_2, T_3, T_4$ , а затем через параметры цикла: степень сжатия и степень предварительного расширения .

2. Кислород занимает объём  $V_1 = 1$  м3 и находится под давлением  $P_1 = 200$  Па. Газ нагрели сначала при постоянном давлении до объёма  $V_2 = 3$  м3, а затем при постоянном объёме до давления  $P_2 = 500$  Па. Найти:

- 1) изменение внутренней энергии газа;
- 2) совершённую им работу ;
- 3) количество теплоты  $Q$ , переданное газу.

3. Определить температуру вырождения электронного газа в цезии, если концентрация электронов равна  $0.91 \cdot 10^{28}$  м-3. Является ли газ с заданной концентрацией вырожденным при комнатной температуре?

**ИТОГОВАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА СОДЕРЖИТСЯ В ПРИСОЕДИНЁННОМ ФАЙЛЕ.**

### **4. Отчет по лабораторной работе:**

1. В чём заключается статистическая природа необратимости процессов в макросистемах?
2. Получить решение кинетического уравнения для модели изолированной двухуровневой системы, определить время релаксации.

3. Используя кинетическое уравнение для модели изолированной двухуровневой системы, доказать, что энтропия монотонно возрастает и достигает максимума в состоянии статистического равновесия.
4. Установить связь между температурой системы и отношением населённостей энергетических уровней.
5. Показать, что системы с абсолютной отрицательной температурой существуют только в случае ограниченного энергетического спектра.
6. Дать объяснение графиков, полученных в компьютерном эксперименте.

### **Задания для оценки владений**

#### **1. Задача:**

Задачи самостоятельной работы № 2

1. Изобразить для идеального газа изотермический, изобарический, изохорный и адиабатический процессы в координатах:  
а)  $P, V$ ; б)  $P, T$ ; в)  $U, T$ .
2. Используя условие  $TdS = dU + pdV$  и выражения для полных дифференциалов четырех термодинамических потенциалов, показать, что при стремлении системы к равновесию все термодинамические функции ( $U, F, H, \Phi$ ) убывают и достигают минимума в состоянии термодинамического равновесия.
3. Вычислить основные термодинамические величины для идеального газа, содержащего  $N$  частиц.
4. Найти изменение энтропии  $\Delta S$  при нагревании воды массой  $m = 100 \text{ г}$  от температуры  $t_1 = 0 \text{ С}$  до температуры  $t_2 = 100 \text{ С}$  и последующем превращении воды в пар той же температуры.
5. Один моль идеального двухатомного газа находится под давлением  $p_1 = 250 \text{ кПа}$  и занимает объём  $V_1 = 10 \text{ л}$ . Сначала газ изохорически нагревают до температуры  $T_2 = 400 \text{ К}$ . Затем изотермически расширяя, доводят его до первоначального давления. После этого путём изобарического сжатия возвращают газ в начальное состояние. Определить к.п.д.  $\eta$  цикла.
6. Определить к.п.д обратимого цикла Карно с равновесным излучением в качестве рабочего вещества. Согласуется ли полученный результат с первой теоремой Карно?
7. Обосновать поведение модели «Птичка Хоттабыча» на основе II начала термодинамики.
8. Коэффициент объемного расширения воды при  $4 \text{ С}$  изменяет знак: в интервале от  $0$  до  $4 \text{ С}$  он является отрицательным. Показать, что в этом интервале температур вода при адиабатном сжатии охлаждается, а не нагревается, как другие жидкости и все газы.
9. Вычислить изменение энтропии при смешении двух равных масс одного и того же идеального газа, находящихся первоначально а) при одинаковом давлении  $p$  и различных температурах ; б) при одинаковой температуре  $T$  и различных давлениях . Определить область изменения  $S$  в обоих случаях.
10. Жидкий гелий  $\text{He II}$  ведет себя как "смесь" двух жидкостей - сверхтекучей ( $S = 0$ , вязкость равна нулю) и нормальной. Если в сосудах, соединенных капилляром и заполненных  $\text{He II}$ , создать разность температур ( $T_2 - T_1$ ), то это вызовет в них разность давлений ( $P_2 - P_1$ ). Объясните это явление и установите связь между разностью давлений и разностью температур.

Задачи самостоятельной работы № 3

1. Провести сопоставление фазовых переходов I и II рода.
2. Объяснить физический смысл поправок в уравнении Ван-дер-Ваальса.
3. Составить сравнительную таблицу характеристик ферми- и бозе – газа.
4. Используя формулу Рэлея для интенсивности молекулярного рассеяния света, объяснить голубой цвет неба и красный цвет зорь.
5. Что такое броуновское движение? Вывести формулу Эйнштейна-Смолуховского для смещения броуновской частицы.
6. При какой концентрации электронов с температурой  $100000 \text{ К}$  можно пользоваться статистикой Максвелла-Больцмана?
7. Определить температуру бозе-конденсации в случае изотопа гелия – 4, если известно, что спин атомов гелия равен нулю, а молярный объём составляет  $27,6 \text{ см}^3$ .
8. В баллоне объёмом  $V=8 \text{ л}$  находится кислород массой  $m = 0,3 \text{ кг}$  при температуре  $T=300 \text{ К}$ . Определить:  
а) какую часть объёма сосуда составляет собственный объём молекул газа;  
б) отношение внутреннего давления к давлению газа на стенки сосуда.
9. Методом термодинамических функций исследовать изменение температуры газа при адиабатическом дросселировании в эффекте Джоуля-Томсона для водорода и гелия. Определить температуру инверсии.
10. На основе зависимости среднего значения квадрата смещения броуновской частицы от времени, полученной в результате компьютерного эксперимента, определить коэффициент диффузии и подвижность броуновских частиц (с помощью уравнения Эйнштейна). В эксперименте наблюдалась диффузия броуновских частиц в воде, температура воды  $330 \text{ К}$ , радиус броуновских частиц  $0.1 \text{ мкм}$ .

#### **2. Контрольная работа по разделу/теме:**

Контрольная работа № 2

Вариант 1

1. Определить к.п.д. цикла Стирлинга, состоящего из двух изотерм и двух изохор, для 1 моля идеального газа. Сравнить его с к.п.д. цикла Карно с теми же температурами.
2. Определить изменение энтропии при изотермическом расширении кислорода массой 10 г от объема 25 л до объема 100 л.
3. Используя табличное значение для концентрации электронов в меди, установить, при какой температуре происходит переход электронного газа от невырожденного к вырожденному при данной концентрации. Является ли газ вырожденным с данной концентрацией при комнатной температуре?

Вариант 2

1. Определить к.п.д. цикла Ленуара, состоящего из изохорного, адиабатного и изобарного процессов для 1 моля идеального газа. Выразить к.п.д. сначала через температуры, а затем через параметр цикла .
2. Газ А объемом 3 м<sup>3</sup> диффундирует в другой газ В с тем же объемом 3 м<sup>3</sup> при постоянном общем давлении Р=2 атм и температуре 0С. Вычислить прирост энтропии, считая газ идеальным. (Учесть: в нормальных условиях при Р=1 атм объем 1 моля составляет 0,0224 м<sup>3</sup>).
3. Концентрация электронов в серебре  $n=5.85 \cdot 10^{28}$  м<sup>-3</sup>. Определить температуру вырождения электронного газа. Является ли газ с такой концентрацией вырожденным при комнатной температуре?

Вариант 3

1. В двигателе внутреннего сгорания, работающем по циклу Отто, горючая смесь, вошедшая в цилиндр, адиабатно сжимается; воспламененная искрой, изохорно сгорает; адиабатно расширяется и выбрасывается в атмосферу. Работа производится не за счёт теплоты извне, а за счёт внутренней энергии рабочего вещества (горючей смеси).

Определить к.п.д. двигателя и выразить его сначала через  $T_1, T_2, T_3, T_4$ , а затем через параметр цикла – степень сжатия газа.

2. Найти изменение энтропии при смешении двух равных масс одного и того же идеального газа, находящихся до смешения при одинаковом давлении Р и различных температурах  $T_1$  и  $T_2$ .

3. Определить температуру вырождения электронного газа в золоте, если концентрация электронов  $n=5.9 \cdot 10^{28}$  м<sup>-3</sup>. Является ли газ с данной концентрацией вырожденным при комнатной температуре?

Вариант 4

1. Двигатель внутреннего сгорания, работающий по циклу Дизеля, включает следующие процессы: адиабатное сжатие атмосферного воздуха, изобарное расширение (впрыскивание горючей смеси и её сгорание), адиабатическое расширение, изохорное охлаждение. Определить к.п.д. сначала через  $T_1, T_2, T_3, T_4$ , а затем через параметры цикла: степень сжатия и степень предварительного расширения .

2. Кислород занимает объем  $V_1 = 1$  м<sup>3</sup> и находится под давлением  $P_1 = 200$  Па. Газ нагрели сначала при постоянном давлении до объема  $V_2 = 3$  м<sup>3</sup>, а затем при постоянном объеме до давления  $P_2 = 500$  Па. Найти:

- 1) изменение внутренней энергии газа;
- 2) совершившую им работу ;
- 3) количество теплоты  $Q$ , переданное газу.

3. Определить температуру вырождения электронного газа в цезии, если концентрация электронов равна  $0.91 \cdot 10^{28}$  м<sup>-3</sup>. Является ли газ с заданной концентрацией вырожденным при комнатной температуре?

ИТОГОВАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА СОДЕРЖИТСЯ В ПРИСОЕДИНЁННОМ ФАЙЛЕ.

## 2. Оценочные средства для промежуточной аттестации

### 1. Экзамен

Вопросы к экзамену:

1. Два метода исследования макроскопических процессов: феноменологическая термодинамика и статистическая физика.
2. Фазовое пространство. Функция статистического распределения в фазовом пространстве.
3. Метод ансамблей Гиббса. Эргодическая гипотеза.
4. Теорема Лиувилля.
5. Микроканоническое распределение Гиббса в классической и квантовой статистике.
6. Квазиклассическое описание в статистической физике.
7. Статистическое определение энтропии.
8. Каноническое распределение Гиббса в классической статистике.
9. Каноническое распределение Гиббса в квантовой статистике.
10. Статистическая сумма (статистический интеграл) и её связь со свободной энергией.
11. Большое каноническое распределение.
12. Распределение Максвелла (распределение молекул идеального газа по скоростям).
13. Распределение Больцмана по координатам в однородном силовом поле. Барометрическая формула.
14. Распределение Ферми-Дирака.
15. Распределение Бозе-Эйнштейна.

16. Промежуточная квантовая статистика. Функция распределения Джентиле.
17. Сопоставление статистик Ферми-Дирака, Бозе-Эйнштейна и Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения.
18. Внутренняя энергия системы, теплота, работа. Микроскопический смысл теплоты и работы.
19. Первый закон термодинамики.
20. Термодинамическое определение температуры. Нулевое начало термодинамики.
21. Границы применимости молекулярно-кинетического определения температуры.
22. Абсолютный нуль температуры как температура, соответствующая наименьшему возможному значению энергии.
23. Абсолютные отрицательные температуры.
24. Уравнения основных термодинамических процессов. Термическое и калорическое уравнения состояния.
25. Второй закон термодинамики для обратимых и необратимых процессов.
26. Цикл Карно. Теоремы Карно.
27. Закон возрастания энтропии в замкнутой системе.
28. Статистический смысл второго начала термодинамики. Границы применимости второго начала термодинамики.
29. Термодинамические потенциалы (внутренняя энергия, свободная энергия, энталпия, термодинамический потенциал Гиббса) и их физический смысл.
30. Химический потенциал.
31. Третий закон термодинамики (тепловая теорема Нернста) и его статистическое обоснование.
32. Недостижимость абсолютного нуля температуры. Свойства вещества вблизи абсолютного нуля.
33. Условия равновесия двух фаз.
34. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса и его следствия.
35. Температурная зависимость давления насыщенного пара.
36. Равновесие трёх фаз вещества. Тройная точка. Правило фаз Гиббса.
37. Фазовые переходы I и II рода.
38. Термодинамические функции и уравнение состояния классического идеального газа.
39. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
40. Закон о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы в классической статистике.
41. Классическая теория теплоемкости идеальных газов.
42. Квантовая теория теплоемкости одноатомных и двухатомных газов. Характеристические температуры.
43. Свободные электроны в металле как вырожденный ферми-газ.
44. Равновесное излучение как фотонный газ. Законы излучения абсолютно чёрного тела.
45. Явление конденсации в вырожденном бозе-газе.
46. Флуктуации и броуновское движение.

#### **Раздел 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

1. Для текущего контроля используются следующие оценочные средства:

##### **1. Задача**

Задачи позволяют оценивать и диагностировать знание фактического материала (базовые понятия, алгоритмы, факты) и умение правильно использовать специальные термины и понятия, узнавание объектов изучения в рамках определенного раздела дисциплины; умения синтезировать, анализировать, обобщать фактический и теоретический материал с формулированием конкретных выводов, установлением причинно-следственных связей.

Алгоритм решения задач:

1. Внимательно прочтите условие задания и уясните основной вопрос, представьте процессы и явления, описанные в условии.
2. Повторно прочтите условие для того, чтобы чётко представить основной вопрос, проблему, цель решения, заданные величины, опираясь на которые можно вести поиск решения.
3. Произведите краткую запись условия задания.
4. Если необходимо, составьте таблицу, схему, рисунок или чертёж.
5. Установите связь между искомыми величинами и данными; определите метод решения задания, составьте план решения.
6. Выполните план решения, обосновывая каждое действие.
7. Проверьте правильность решения задания.
8. Произведите оценку реальности полученного решения.
9. Запишите ответ.

##### **2. Коллоквиум**

Коллоквиум - вид учебно-теоретических занятий, представляющий собой групповое обсуждение под руководством преподавателя достаточно широкого круга проблем, например, относительно самостоятельного большого раздела лекционного курса.

Подготовка к данному виду учебных занятий осуществляется в следующем порядке: преподаватель дает список вопросов, ответы на которые следует получить при изучении определенного перечня научных источников; студентам во внеаудиторное время необходимо прочитать специальную литературу, выписать из нее ответы на вопросы, которые будут обсуждаться на коллоквиуме, мысленно сформулировать свое мнение по каждому из вопросов, которое они высажут на занятии.

##### **3. Контрольная работа по разделу/теме**

Контрольная работа выполняется с целью проверки знаний и умений, полученных студентом в ходе лекционных и практических занятий и самостоятельного изучения дисциплины. Написание контрольной работы призвано установить степень усвоения студентами учебного материала раздела/темы и формирования соответствующих компетенций.

Подготовку к контрольной работе следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данному разделу/теме и конспектов лекций.

Контрольная работа выполняется студентом в срок, установленный преподавателем в письменном (печатном или рукописном) виде.

При оформлении контрольной работы следует придерживаться рекомендаций, представленных в документе «Регламент оформления письменных работ».

##### **4. Отчет по лабораторной работе**

При составлении и оформлении отчета следует придерживаться рекомендаций, представленных в методических указаниях по выполнению лабораторных работ по дисциплине.

2. Описание процедуры промежуточной аттестации

Оценка за зачет/экзамен может быть выставлена по результатам текущего рейтинга. Текущий рейтинг – это результаты выполнения практических работ в ходе обучения, контрольных работ, выполнения заданий к лекциям (при наличии) и др. видов заданий.

Результаты текущего рейтинга доводятся до студентов до начала экзаменационной сессии.

Экзамен преследует цель оценить работу обучающегося за определенный курс: полученные теоретические знания, их прочность, развитие логического и творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умения анализировать и синтезировать полученные знания и применять их для решения практических задач.

Экзамен проводится в устной или письменной форме по билетам, утвержденным заведующим кафедрой (или в форме компьютерного тестирования). Экзаменационный билет включает в себя два вопроса и задачи. Формулировка вопросов совпадает с формулировкой перечня вопросов, доведенного до сведения обучающихся не позднее чем за один месяц до экзаменационной сессии.

В процессе подготовки к экзамену организована предэкзаменационная консультация для всех учебных групп.

При любой форме проведения экзаменов по билетам экзаменатору предоставляется право задавать студентам дополнительные вопросы, задачи и примеры по программе данной дисциплины. Дополнительные вопросы также, как и основные вопросы билета, требуют развернутого ответа.