

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет  
Кафедра теоретической и вычислительной физики

## **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**по дисциплине**

**«Молекулярная физика»**

**Кафедра теоретической и вычислительной физики  
физического факультета**

**Образовательная программа бакалавриата  
03.03.02 – Физика**

Направленность (Профиль) подготовки:

Фундаментальная физика, Медицинская физика

Форма обучения:

Очная

Статус дисциплины:

Обязательная часть,

базовый модуль направления

Махачкала, 2022 год

Фонд оценочных средств дисциплины «Молекулярная физика» составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.02 - «Физика» от «7» августа 2020г. № 891.

Разработчик: кафедра теоретической и вычислительной физики,  
Хизриев К.Ш., к.ф.-м.н., доцент

Фонд оценочных средств по дисциплине «Молекулярная физика» одобрен:  
на заседании кафедры теоретической и вычислительной физики  
«23» марта 2022г., протокол №7.

Зав. кафедрой  Муртазаев А.К.


на заседании Методической комиссии Физического факультета  
от «25» марта 2022г., протокол №7

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Фонд оценочных средств по дисциплине «Молекулярная физика» согласована с  
учебно-методическим управлением «31» марта 2022г.

Начальник УМУ  Гасангаджиева А.Г

Рецензент:  
Заместитель директора  
по научной работе  
ФГБУН Института физики  
ДНЦ РАН, д.ф.-м.н.

 С.Н. Каллаев

**1. ПАСПОРТ  
ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
По дисциплине Молекулярная физика»**

**1.1. Основные сведения о дисциплине**

Объем дисциплины 5 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий – 180 часов.

Вид работы	Трудоемкость, академических часов	
	семестр	всего
<b>Общая трудоёмкость</b>	<b>180</b>	<b>180</b>
<b>Контактная работа:</b>		
Лекции (Л)	54	54
Практические занятия (ПЗ)	68	68
Лабораторные занятия		
Консультации		
Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	зачет	зачет
<b>Самостоятельная работа:</b>	<b>58</b>	<b>58</b>
- <i>написание реферата (Р);</i>		
- <i>написание эссе (Э);</i>		
- <i>самостоятельное изучение разделов (перечислить);</i>	22	22
- <i>самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий;</i>		
- <i>подготовка к практическим занятиям;</i>		
- <i>подготовка к коллоквиумам;</i>		
- <i>подготовка к рубежному контролю и т.п.)</i>	36	36
<b>Вид итогового контроля (зачет)</b>	<b>экзамен</b>	<b>Экзамен</b>

**1.2. Требования к результатам обучения по дисциплине, формы их контроля и виды оценочных средств**

№ п/п	Контролируемые модули, разделы (темы) дисциплины	Индекс контролируемой компетенции (или ее части)	Оценочные средства		Способ контроля
			наименование	№№ заданий	
1	<i>Предмет молекулярной физики. Теория идеальных</i>	ПК-3	Типовые задачи	1-20	письменно

	<i>газов</i>				
2	<i>Молекулярная теория давления идеального газа</i>	ПК-3	Тесты по теме 2	1-20	письменно
3	<i>Термодинамический метод</i>	ПК-3	Вопросы дискуссии	1-20	письменно
4	<i>Реальные газы. Жидкости Твердые тела. Фазовые переходы. Твердые тела. Фазовые переходы.</i>	ПК-3	Типовые задачи	1-20	письменно
5	<i>Промежуточная аттестация</i>	ПК-3	Коллоквиум, контроль	1-20	письменно

### 1.3. Показатели и критерии определения уровня сформированности компетенций

№ п/п	Индекс компетенции	Уровни сформированности компетенции			
		Недостаточный	Удовлетворительный (достаточный)	Базовый	Повышенный
1	ПК-3	Отсутствие признаков удовлетворительного уровня	Знает на удовлетворительном уровне: содержание, сущность, закономерности, принципы и особенности	Знает базово, но с допущением некоторых пробелов : содержание, сущность,	Знает: содержание, сущность, закономерности, принципы и

			<p>изучаемых явлений и процессов, базовые теории в предметной области; закономерности, определяющие место предмета в общей картине мира; программы и учебники по преподаваемому предмету; основы общетеоретических дисциплин в объеме, необходимом для решения педагогических, научно-методических и организационно-управленческих задач (педагогика, методика преподавания предмета.) Умеет на удовлетворительном уровне: анализировать базовые предметные научнотеоретические представления о сущности,</p>	<p>закономерности, принципы и особенности изучаемых явлений и процессов, базовые теории в предметной области; закономерности, определяющие место предмета в общей картине мира; программы и учебники по преподаваемому предмету; основы общетеоретических дисциплин в объеме, необходимом для решения педагогических, научно-методических и организационно-управленческих задач (педагогика, методика преподавания</p>	<p>особенности изучаемых явлений и процессов, базовые теории в предметной области; закономерности, определяющие место предмета в общей картине мира; программы и учебники по преподаваемому предмету; основы общетеоретических дисциплин в объеме, необходимом для решения педагогических, научно-методических и организационно-управленческих задач (педагогика, методика</p>
--	--	--	---	--	--

			<p>закономерностях, принципах и особенностях изучаемых явлений и процессов. Владеет на удовлетворительном уровне: навыками понимания и системного анализа, базовых научнотеоретических представлений для решения профессиональных задач.</p>	<p>я предмета.) Умеет базово, но с допущением некоторых пробелов: анализировать базовые предметные научнотеоретические представления о сущности, закономерностях, принципах и особенностях изучаемых явлений и процессов. Владеет базово, но с допущением некоторых пробелов: навыками понимания и системного анализа, базовых научнотеоретических представлений для решения профессиональных задач.</p>	<p>преподавания предмета.) Умеет: анализировать базовые предметные научнотеоретические представления о сущности, закономерностях, принципах и особенностях изучаемых явлений и процессов. Владеет: навыками понимания и системного анализа, базовых научнотеоретических представлений для решения профессиональных задач.</p>
--	--	--	--	--	---

**2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОЦЕНКИ знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины «Молекулярная физика»**

К **оценочным средствам** результатов обучения по данной дисциплине относятся:

**Устный опрос (экзамен, теоретический зачет)** – диалог преподавателя со студентом, цель которого – систематизация и уточнение имеющихся у студента знаний, проверка его индивидуальных возможностей усвоения материала.

Рекомендуется для оценки знаний обучающихся.

**Коллоквиум** – способ промежуточной проверки знаний, умений, навыков студента в середине семестра по пройденным темам изучаемого предмета. Рекомендуется для оценки знаний обучающихся.

**Тесты** – инструмент, с помощью которого педагог оценивает степень достижения студентом требуемых знаний, умений, навыков. Составление теста включает в себя создание выверенной системы вопросов, собственно процедуру проведения тестирования и способ измерения полученных результатов.

Рекомендуется для оценки знаний и умений студентов.

**Контрольная работа** – средство промежуточного контроля остаточных знаний и умений, обычно состоящее из нескольких вопросов или заданий, которые студент должен решить, выполнить.

Рекомендуется для оценки знаний и умений студентов.

**Проектная деятельность** – воплощение имеющегося замысла, идеи, образа решения какой-либо проблемы в подходящей для этого форме (описание, обоснование, расчеты, чертежи).

Рекомендуется для оценки умений и владений студентов.

**Презентация** – представление студентом наработанной информации по заданной тематике в виде набора слайдов и спецэффектов, подготовленных в выбранной программе.

**Кейс-задача** – проблемное задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию, необходимую для решения данной проблемы. Студент самостоятельно формулирует цель, находит и собирает информацию, анализирует ее, выдвигает гипотезы, ищет варианты решения проблемы, формулирует выводы, обосновывает оптимальное решение ситуации.

Рекомендуется для оценки знаний, умений и владений, а также отдельных дисциплинарных компетенций студентов.

**Реферат** – продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемого вопроса, приводит различные точки зрения, а также собственное понимание проблемы.

### **Вопросы для коллоквиумов, собеседования**

1. Дайте определение атомной и молекулярной массы. Что такое изотоп? Запишите приближенно объем молекулы. Что характеризует число Лошмидта, число 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  $f(v_x)$ ,  $f(v_y)$ ,  $F(v)$ , что они характеризуют?
18. Получите значение наиболее вероятной, среднеарифметической и среднеквадратичной скоростей.
19. Изобразите вид кривой распределения и отметьте примерные положения наиболее вероятной, среднеарифметической и среднеквадратичной скоростей.
20. Изобразите примерные графики функции для двух разных значений температур.
21. Изобразите примерные графики функции для двух газов с различными значениями молекулярной массы.
22. Объясните причину асимметрии графика функции распределения.
23. Определите долю молекул водорода при температуре, 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?
25. Опишите опыты Штерна по определению скоростей атомов. Получите формулу.
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 наивероятнейшая 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.
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. Доказать, что на одну поступательную степень свободы приходится энергия, равная  $kT/2$ .
45. Покажите, что на каждую вращательную степень свободы приходится энергия, равная  $kT/2$ .
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.
49. Сколько молей атомов кислорода содержат два моля молекул воды?
50. Используя формулу для элементарного потока через площадку за время  $t$ , 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  $C_p$  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  $P_1$  до  $P_2$  и от  $V_1$  до  $V_2$ . Покажите, что при изохорическом процессе приращение энтропии одного моля идеального газа равно.
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.

140. Получите формулы для коэффициентов переноса.

141. В чем сущность явлений стационарной и нестационарной диффузии? Термодиффузии?

142. Как зависят коэффициенты переноса от температуры и давления? Ответ

обоснуйте.

143. Какие существуют связи между различными коэффициентами переноса?

144. Чем можно объяснить большую теплопроводность металлов по сравнению с газами? Как зависит коэффициент теплопроводности твердых тел от температуры? В чем сущность квантовой теории теплопроводности?

145. Сформулируйте сущность процесса диффузии в металлах. Какова зависимость коэффициента диффузии от температуры? Какие факторы влияют на коэффициент диффузии в металлах?

146. Какое условие нужно обеспечить, чтобы можно было говорить о вакууме внутри сосуда? Почему понятие вакуума имеет относительный характер?

### Критерии оценки:

- оценка **«отлично»** выставляется студенту, если задание по работе выполнено в полном объеме. Студент точно ответил на контрольные вопросы, свободно ориентируется в предложенном решении, может его модифицировать при изменении условия задачи. Отчет выполнен аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями;

- оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если задание по работе выполнено в полном объеме. Студент ответил на теоретические вопросы, испытывая небольшие затруднения. Качество оформления отчета к работе не полностью соответствует требованиям;

- оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если студент правильно выполнил задание к работе. Составил отчет в установленной форме, представил решения большинства заданий, предусмотренных в работе. Студент не может полностью объяснить полученные результаты;

- оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, если студент не выполнил все задания работы и не может объяснить полученные результаты.

## Примерные тесты по молекулярной физике

*(цикловые тесты)*

### Вариант 1

1. Определите среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул воздуха при давлении  $10^5 \text{ Па}$  и концентрации этих молекул  $2.7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

1)  $3.8 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$ ; 2)  $5.6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ; 3)  $3.2 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ;

4)  $9 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ ; 5)  $1.2 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ .

2. Как изменится внутренняя энергия идеального газа при изотермическом сжатии?

1)  $U=0$ ; 2)  $\Delta U > 0$ ; 3)  $\Delta U=0$ ; 4)  $\Delta U < 0$ ;

5)  $\Delta U$  может иметь любое значение.

3. Зависимость давления газа от его объема выражается формулой  $P = \alpha V$ , где  $\alpha = \text{const}$ . Чему равна работа, совершаемая газом при его расширении от объема  $V_1$  до объема  $V_2$ ?
- 1)  $\alpha/2(V_2 - V_1)^2$ ; 2)  $\alpha/2(V_2^2 - V_1^2)$ ; 3)  $\alpha(V_2^2 - V_1^2)$ ;  
4)  $\alpha(V_2 - V_1)^2$ ; 5) 0.
4. Определите зависимость от температуры коэффициента диффузии при изобарном процессе. Эффективное сечение молекул считать постоянным.
- 1)  $D \sim T$ ; 2)  $D \sim \sqrt{T}$ ; 3)  $D \sim T^{3/2}$ ; 4)  $D$  не зависит от  $T$ .
5. В газовом процессе, для которого  $PV^2 = \text{const}$ ,  $V \sim T^n$ , найти значение  $n$ . Масса газа постоянна.
- 1) 2; 2) -1; 3) -2; 4) -1/2; 5) -3.
6. Молекулы, какого из перечисленных газов, входящих в состав воздуха, в равновесном состоянии обладают наибольшей средней арифметической скоростью?
- 1)  $N_2$ ; 2)  $O_2$ ; 3)  $H_2$ ; 4)  $CO_2$ .
7. В поле силы тяжести находятся два вертикальных сосуда с разными газами (водород при  $T_1 = 200 \text{ K}$  и гелий при  $T_2 = 400 \text{ K}$ ). Сравните плотности этих газов на высоте  $h$ , если на уровне  $h=0$  плотности газов одинаковы.
- 1)  $\rho_в > \rho_г$ ; 2)  $\rho_в = \rho_г$ ; 3)  $\rho_в < \rho_г$ ; 4)  $\rho_в = 2\rho_г$ ; 5)  $4\rho_в = \rho_г$ .
8. При каких условиях реальные газы подчиняются законам идеального газа?
- 1) при больших плотностях и низких температурах;  
2) при малых плотностях и не очень высоких и не слишком низких температурах;  
3) при малых плотностях и высоких температурах;  
4) при малых плотностях и низких температурах;  
5) при больших плотностях и не очень высоких и не слишком низких температурах.
9. Из капельницы накапали равные массы холодной и горячей воды. Как и во сколько раз изменился коэффициент поверхностного натяжения воды, если в первом случае образовалось 40, а во втором 48 капель?
- 1) увеличился в 1.2 раза; 2) уменьшился в 1.2 раза;  
3) не изменился; 4) увеличился в 2.4 раза;  
5) уменьшился в 1.44 раза.
10. Критическая температура определяется из выражения:



1)  $T_K = 3B$ ; 2)  $T_K = a/27B^2$ ; 3)  $T_K = 8a/27RB$ ; 4)  $T_K = 3B/27a^2$ . Здесь  $a$  и  $b$  постоянные Ван-Дер-Ваальса.

## Вариант 2

1. В сосуде объемом  $8.31 \text{ м}^3$  находится  $0.02 \text{ кг}$  водорода при температуре  $27^\circ\text{C}$ . Определите его давление.  $R=8.31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ ,  $\mu = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

1)  $3 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ; 2)  $6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ; 3)  $270 \text{ Па}$ ; 4)  $540 \text{ Па}$ ; 5)  $3 \cdot 10^3 \text{ Па}$ .

2. Как формулируется первое начало термодинамики?

1) Изменение внутренней энергии системы при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме работ внешних сил и количества теплоты, переданного системе;

2) Изменение внутренней энергии системы при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме работ, которые система совершает над внешними телами, и количества теплоты, переданного системе;

3) Изменение внутренней энергии системы при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме работ внешних сил и количества теплоты, отданного системой внешним телам;

4) Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение внешними телами работы над системой;

5) Среди ответов нет верных.

3. При адиабатическом процессе справедливо следующее соотношение между давлением и объемом газа  $PV^\gamma = \text{const}$ , где  $\gamma$  коэффициент, определяемый свойствами газа. Как изменится температура идеального газа с коэффициентом  $\gamma=2$ , если адиабатно увеличить объем в 4 раза?

1) увеличится в 16 раз; 2) увеличится в 4 раза;

3) уменьшится в 4 раза; 4) увеличится в 2 раза;

5) уменьшится в 2 раза.

4. Средняя арифметическая скорость молекул равна:

1)  $\sqrt{3RT/\mu}$ ; 2)  $\sqrt{3RT/n\mu}$ ; 3)  $\sqrt{2RT/\mu}$ ; 4)  $\sqrt{RT/\mu}$ ; 5)  $\sqrt{kT/\mu}$ ;

5. Найдите коэффициент внутреннего трения  $\eta$  азота при нормальных условиях, если коэффициент диффузии для него при этих условиях  $D=1.42 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ :

1)  $1.8 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$ ; 2)  $3.2 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$ ; 3)  $1.8 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$ ;

4)  $48 \cdot 10^{-5}$  кг/м·с; 5)  $8 \cdot 10^{-5}$  кг/м·с.

6. Работа, совершаемая одним молем газа при изотермическом процессе, равна:

1)  $RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ ; 2)  $RT \frac{V_2}{V_1}$ ; 3) 0; 4)  $RT \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma$ ; 5)  $R \ln \frac{P}{V}$ .

7. Изменение энтропии в изотермическом процессе задается формулой:

1)  $\Delta S = R \ln V_2/V_1$ ; 2)  $\Delta S = C_V \ln V_2/V_1$ ;

3)  $\Delta S = 0$ ; 4)  $\Delta S = C_P \ln T$ ; 5)  $\Delta S = C_P \ln V_2/V_1$ .

8. Считая газокинетический диаметр молекул углекислого газа равным  $d = 3.2 \cdot 10^{-10}$  м, определите среднюю длину пробега его молекул при температуре  $50^\circ\text{C}$  и давлении  $133.3$  Па:

1)  $0.74 \cdot 10^{-4}$  м; 2)  $8 \cdot 10^{-4}$  м; 3)  $3.2 \cdot 10^{-5}$  м; 4)  $3.5 \cdot 10^{-4}$  м; 5)  $8 \cdot 10^{-5}$  м.

9. Укажите правильное выражение уравнения Ван-дер-Ваальса:

1)  $\left( P + \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2} \right) \left( V - \frac{m}{\mu} b \right) = \frac{m}{\mu} RT$ ;

2)  $\left( P - \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2} \right) \left( V - \frac{m}{\mu} b \right) = \frac{m}{\mu} RT$ ;

3)  $\left( P - \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2} \right) \left( V + \frac{m}{\mu} \frac{a}{V^2} \right) = \frac{m}{\mu} RT$ ;

4)  $\left( P - \frac{a}{V^2} \right) (V + b) = RT$ .

10. В капиллярной трубке радиусом  $0.5$  мм жидкость поднялась на  $11$  мм. Какова плотность жидкости, если коэффициент поверхностного натяжения жидкости  $22 \cdot 10^{-3}$  Н/м?

1)  $800$  кг/м<sup>3</sup>; 2)  $850$  кг/м<sup>3</sup>; 3)  $900$  кг/м<sup>3</sup>; 4)  $816$  кг/м<sup>3</sup>; 5)  $750$  кг/м<sup>3</sup>.

### Вариант 3

1. Плотность воздуха при нормальных условиях  $\rho_0 = 1.29$  кг/м<sup>3</sup>. Найдите молекулярную массу воздуха.  $R = 8.31$  Дж/моль·К.

1)  $0.01$  кг/моль; 2)  $0.041$  кг/моль; 3)  $0.029$  кг/моль;

- 4) 0.015 кг/моль; 5) 0.2 кг/моль.
2. Как изменится внутренняя энергия идеального газа при изохорном нагревании?  
1)  $\Delta U > 0$ ; 2)  $\Delta U = Q$ ; 3)  $\Delta U < Q$ ; 4)  $\Delta U = A$ ; 5)  $\Delta U = -A$ .
3. В идеальном газе при переходе из состояния 1 в состояние 2 давление изохорно увеличивается в 2 раза, затем при переходе из состояния 2 в состояние 3 объем изобарно увеличивается в 2 раза. Какова температура газа в состоянии 3, если в состоянии 1 она равна  $T_0$ ?  
1)  $6T_0$ ; 2)  $5T_0$ ; 3)  $4T_0$ ; 4)  $3T_0$ ; 5)  $T_0$ .
4. Средняя квадратичная скорость молекул равна:  
1)  $\sqrt{8RT / \pi\mu}$ ; 2)  $\sqrt{2RT / \mu}$ ; 3)  $\sqrt{3RT / \mu}$ ;  
4)  $\sqrt{RT / \mu}$ ; 5)  $\sqrt{2kT / \mu}$ .
5. Внутренняя энергия моля Ван-дер-Ваальсовского газа равна:  
1)  $C_V T$ ; 2)  $C_R T$ ; 3)  $C_V T - \frac{a}{V_M}$ ; 4)  $C_V T + \frac{a}{V_M}$ ; 5)  $C_V T (C_V + C_P)$ .
6. Показатель политропы для изотермического процесса  $n$  равен:  
1)  $n=0$ ; 2)  $n=+\infty$ ; 3)  $n=1$ ; 4)  $n=\infty$ .
7. Как изменяется коэффициент диффузии  $D$  и вязкость  $\eta$  идеального газа, если объем его увеличить в  $n$  раз изотермически?  
1)  $D$  увеличится в  $n$  раз,  $\eta$  увеличится в  $n$  раз;  
2)  $D$  уменьшится в  $n$  раз,  $\eta = \text{const}$ ;  
3)  $D$  увеличится в  $n$  раз,  $\eta = \text{const}$ ;  
4)  $D$  уменьшится в  $n$  раз,  $\eta$  уменьшится в  $n$  раз;  
5)  $D = \text{const}$ ,  $\eta = \text{const}$ .
8. В объеме  $V=5$  л воды растворено  $m=2$  г поваренной соли. Найдите осмотическое давление  $P$  для этого раствора при температуре  $t=17^\circ\text{C}$ , если степень диссоциации молекул соли 75%.  
1)  $5 \cdot 10^4$  Па; 2)  $2.9 \cdot 10^5$  Па; 3)  $8.1 \cdot 10^5$  Па; 4)  $6.2 \cdot 10^5$  Па; 5)  $5 \cdot 10^{-4}$  Па.
9. Насыщенный водяной пар находится при  $100^\circ\text{C}$  и занимает некоторый объем. Как изменится давление пара, если его объем уменьшить вдвое, сохраняя прежнюю температуру?  
1) не изменится; 2) увеличится в 2 раза; 3) уменьшится в 2 раза;  
4) увеличится в 1.25 раза; 5) среди ответов нет верных.

10. Термодинамическая система совершает произвольный термодинамический процесс. Какие из величин, характеризующих процесс ( $U, S, A, Q$ ), являются функциями состояния?  
 1)  $U, Q$ ; 2)  $S, A$ ; 3)  $U, S$ ; 4)  $A, U$ ; 5)  $Q, S$ .

Вариант 4

1. Давление газа равно  $P \sim n \langle W_{\text{посл}} \rangle$ . В каком из перечисленных процессов одновременно с возрастанием  $n$  уменьшается и  $\langle W_{\text{посл}} \rangle$ ?  
 1) изотермическом; 2) изобарном; 3) изохорном;  
 4) адиабатическом; 5) ответы 1-4 не верны.
2. Какова внутренняя энергия одноатомного газа, занимающего при температуре  $T$  объем  $V$ , если концентрация его молекул  $n$ ?  
 1)  $\frac{3}{2} nkTV$ ; 2)  $\frac{3}{2} nk T/V$ ; 3)  $\frac{2}{3} nkTV$ ; 4)  $\frac{3}{2} k T/nV$ ; 5)  $\frac{3}{2} V/nkT$ .
3. Как изменится коэффициент диффузии  $D$  и вязкость  $\eta$  идеального газа, если его объем увеличить в  $n$  раз изобарически?  
 1)  $D$  увеличится в  $n$  раз,  $\eta \sqrt{n}$  раз;  
 2)  $D$  увеличится в  $n^{3/2}$  раз,  $\eta \sqrt{n}$  раз;  
 3)  $D$  увеличится в  $n$  раз и  $\eta$  в  $n$  раз;  
 4)  $D$  уменьшится в  $n$  раз,  $\eta$  в  $n$  раз;  
 5)  $D$  увеличится в  $n^{1/2}$  раза,  $\eta$  в  $\sqrt{n}$  раз.
4. Некоторый газ с неизменной массой переводится из одного равновесного состояния в другое. Изменится ли распределение молекул по скоростям: а) положение максимума кривой Максвелла; б) площадь этой кривой.  
 1. а) изменится; б) изменится; 2. а) не изменится; б) не изменится;  
 3. а) не изменится; б) изменится; 4. а) изменится б) не изменится.

5. Верны ли следующие утверждения относительно машины Карно? **а)** рабочее вещество всегда идеальный газ; **б)** цикл состоит из двух изотерм и двух адиабат; **в)** КПД цикла зависит только от температуры нагревателя и холодильника.

1. а) да; б) нет; в) нет; 2. а) да; б) нет; в) нет;

3. а) нет; б) нет; в) да; 4. а) да; б) да; в) да;

5. а) нет; б) да; в) да.

6. При адиабатическом сжатии идеального газа совершена работа **A**. Какие из приведенных ниже соотношений для количества теплоты **Q**, полученной газом в этом процессе, и изменения внутренней энергии  $\Delta U$  справедливы?

1)  $Q = 0 \quad \Delta U = A$ ; 2)  $Q = A \quad \Delta U = 0$ ; 3)  $Q = 0 \quad \Delta U = -A$ ;

4)  $Q = -A \quad \Delta U = 0$ ; 5)  $Q = 0 \quad \Delta U = 0$ .

7. Воду массой  $m=1 \text{ кг}$  нагрели от температуры  $t_1=10^\circ\text{C}$  до  $t_2=100^\circ\text{C}$ , при которой она вся превратилась в пар. Найти приращение энтропии системы.

$$1) \Delta S = m \left( C \ln \frac{T_2}{T_1} - \frac{r}{T_2} \right); 2) \Delta S = mC \ln \frac{T_2}{T_1};$$

$$3) \Delta S = mr/T_2; 4) \Delta S = m \left( C \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{r}{T_2} \right); 5) \Delta S = 0. \text{ Здесь } c - \text{ удельная}$$

теплоемкость воды,  $r$  – удельная теплота парообразования.

8. Распределение молекул по высоте описывается распределением Больцмана:

$$1) n(h) = \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right); 2) n(h) = n_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right);$$

$$3) n(h) = n_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{kT}\right); 4) n(h) = n_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right);$$

$$5) n(h) = n_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{R}\right).$$

9. Вычислите постоянные **a** и **b** в уравнении Ван-дер-Ваальса для углекислого газа, если известна критическая температура  $T_{кр} = 304 \text{ К}$  и давление  $P_{кр} = 73 \text{ атм}$ .

1)  $a=3.6 \text{ атм}\cdot\text{л}^2/\text{моль}^2$ ;  $b=0.043 \text{ л/моль}$ ;

2)  $a=8.2 \text{ атм}\cdot\text{л}^2/\text{моль}^2$ ;  $b=0.43 \text{ л/моль}$ ;

3)  $a=0.043 \text{ л/моль}$ ;  $b=3.6 \text{ атм}\cdot\text{л}^2/\text{моль}^2$ ;

4)  $a=1.8 \text{ атм}\cdot\text{л}^2/\text{моль}^2$ ;  $b=0.086 \text{ л/моль}$ .

10. Найдите добавочное давление  $P$  внутри мыльного пузыря диаметром  $d=10 \text{ см}$ . Определите также работу  $A$ , которую нужно совершить, чтобы выдуть этот пузырь.  $\sigma=40\cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ .

1)  $P=3.2 \text{ Па}$ ,  $A=2.5 \text{ мДж}$ ; 2)  $P=3.2\cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $A=2.5 \text{ мДж}$ ;

3)  $P=8.3 \text{ Па}$ ,  $A=5 \text{ мДж}$ ; 4)  $P=1.6 \text{ Па}$ ,  $A=2.5 \text{ мДж}$ .

### Вариант 5

1. Как изменится температура и давление идеального газа, заключенного в сосуд постоянного объема, если увеличить среднюю квадратичную скорость молекул газа в 2 раза?

1)  $P_2=4P_1$ ,  $T_2=4T_1$ ; 2)  $P_2=2P_1$ ,  $T_2=2T_1$ ; 3)  $P_2=P_1$ ,  $T_2=4T_1$ ;

4)  $P_2=4P_1$ ,  $T_2=T_1$ ; 5)  $P_2=P_1$ ,  $T_2=T_1$ .

2. Определите диаметр капли воды, в которой возникает лапласовское давление  $\Delta P = 1440 \text{ Па}$ ,  $\sigma = 0,073 \text{ Н/м}$ .

1) 144 мм; 2) 40 мм; 3) 2.45 мм; 4) 0.2 мм; 5) 1 мм.

3. Как изменится внутренняя энергия идеального газа при изобарном нагревании?

1)  $\Delta U=Q$ ; 2)  $\Delta U>Q$ ; 3)  $\Delta U=A$ ; 4)  $\Delta U=-A$ ; 5)  $\Delta U<Q$ .

4. Идеальный газ сначала расширяется, затем сжимается и возвращается в исходное состояние. За один цикл газ получил от нагревателя количество теплоты  $Q_1$ , отдал холодильнику количество теплоты  $Q_2$  и совершил работу  $A$ . Чему равен КПД этого цикла?

1)  $\eta=Q_1/q_2$ ; 2)  $\eta=Q_2/q_1$ ; 3)  $\eta=(Q_2-A)/Q_1$ ;

4)  $\eta=A/Q_1$ ; 5)  $\eta=(Q_2+A)/Q_1$ .

5. Наиболее вероятная скорость равна:

1)  $\sqrt{8RT / n\mu}$ ; 2)  $\sqrt{2RT / \mu}$ ; 3)  $\sqrt{3RT / \mu}$ ;

4)  $\sqrt{RT / \mu}$ ; 5)  $\sqrt{2kT / \mu}$ .

6. Работа, совершаемая газом при изохорном процессе:  
 1)  $P(V_2 - V_1)$ ; 2) 0; 3)  $RT \ln(V_2/V_1)^\gamma$ ; 4)  $PV$ ; 5)  $V(P_2 - P_1)$ .
7. Укажите, зависит ли от плотности газа коэффициент переноса: а) диффузии; б) вязкости; в) теплопроводности:  
 1. а) да; б) да; в) да; 2. а) да; б) нет; в) нет; 3. а) да; б) нет; в) да;  
 4. а) нет; б) нет; в) да; 5. а) нет; б) да; в) да.
8. Изменение энтропии при адиабатическом процессе равно:  
 1)  $\Delta S = R \ln \frac{T_2}{T_1}$ ; 2)  $\Delta S = R \ln \frac{V_2}{V_1}$ ; 3)  $\Delta S = C_V \ln \frac{T_2}{T_1}$ ;  
 4)  $\Delta S = 0$ ; 5)  $\Delta S = R \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma$ .
9. В калориметре, теплоемкостью стенок которого можно пренебречь, содержится вода массой **1 кг**. При опускании в воду металла массой **1 кг**. В результате теплопередачи он охладился на **50 К**, а вода нагрелась на **5 К**. Чему равна удельная теплоемкость металла?  $e_s = 4200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ .  
 1)  $0.1 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ; 2)  $10 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ; 3)  $0.42 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ;  
 4)  $420 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ; 5)  $4200 \text{ Дж/Гк}$ .
10. Определите наибольшее давление  $P_{\max}$  насыщенных водяных паров:  
 1)  $8a/27Rb$ ; 2)  $a/27b^2$ ; 3)  $3/8a/b^2$ ; 4)  $3b$ ; 5)  $8a/27b^2$ .

## 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.

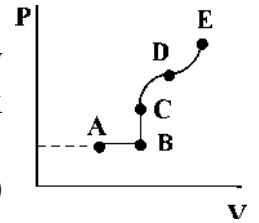
*Для решения используются:* 1) уравнение процессов перехода; 2) все положения и закономерности, используемые для решения задач типов 1 и 2.

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 и двухатомного газа в адиабатическом, изохорическом, изотермическом и изобарическом 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  $pU$ - и  $TS$ -координатах.
22. Каков физический смысл площади, ограниченной кривой цикла, на  $pV$ - и  $TS$ -диаграммах? литературы: основная и дополнительная литература

**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 II начало с помощью функции энтропии?
3. Как изменяется энтропия для обратимых и необратимых процессов? Чему равно значение  $\int dQ/T$  для

обратимого и необратимого кругового процесса? Температура каких тел входит в этих случаях в знаменатель подынтегрального выражения?

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 дифференциалов?
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 равномерного распределения энергии по степеням свободы.

Определение характеристик броуновского движения немолекулярных объектов.

*Для решения используются:* закономерность броуновского движения и закона равномерного распределения 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 столкновения 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 в



- поведении газов наступает 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 молекулярнокинетической 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?
10. Что такое «дресселирование» газа?
11. Почему процесс дресселирования в идеальном газе не сопровождается изменением температуры, а в неидеальном - сопровождается?

### **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 условий в уравнение Клапейрона-Клаузиуса или 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  $L_{xz}$  (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 и теплоты парообразования?
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?

### **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, выражать 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 обсуждается на практических и лабораторных занятиях;
- промежуточные задания во время лабораторных и практических занятий для выявления знаний по основным элементам новых разделов теории;
- три коллоквиума по основным разделам молекулярной физики в 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 «РПД» уровня владения компетенцией (Основного/Повышенного).

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

Балльно-рейтинговая системы контроля.

Введение *балльно-рейтинговой системы* контроля продиктовано новым этапом развития системы высшего профессионального образования в России, обусловленным подписанием Болонских соглашений. Такая система контроля возможна только при модульном построении курса, что соответствует структуре данной Программы, где каждый раздел/тему можно рассматривать как учебный модуль.

Данная система контроля способствует решению следующих задач:

- повышению уровня учебной автономии студентов;
- достижению максимальной прозрачности содержания курса, системы контроля и оценивания результатов его освоения;
- усилению ответственности студентов и преподавателей за результаты учебного труда на протяжении всего курса обучения;
- повышению объективности и эффективности промежуточного и итогового контроля по курсу.

При балльно-рейтинговом контроле итоговая оценка выставляется не на основании оценки за ответ на зачете или экзамене, а складывается из полученных баллов за выполнение контрольных заданий по каждому учебному модулю курса. Рейтинговая составляющая такой системы контроля предполагает введение системы штрафов и бонусов, что позволяет осуществлять мониторинг учебной деятельности более эффективно. Штрафы могут назначаться за нарушение сроков сдачи и требований к оформлению работ, бонусные баллы - за выполнение дополнительных заданий или заданий повышенного уровня сложности. Сумма набранных баллов позволяет не только определить оценку студента по учебной дисциплине, но и его рейтинг в группе/ среди других студентов курса.

Данная система предполагает:

- систематичность контрольных срезов на протяжении всего курса в течение семестра или семестров, выделенных на изучение данной дисциплины по учебному плану;
- обязательную отчетность каждого студента за освоение каждого учебного модуля/темы в срок, предусмотренный учебным планом и графиком освоения учебной дисциплины по семестрам и месяцам;
- регулярность работы каждого студента, формирование должного уровня учебной дисциплины, ответственности и системности в работе;
- обеспечение быстрой обратной связи между студентами и преподавателем, учебной частью, что позволяет корректировать успешность учебно-познавательной деятельности каждого студента и способствовать повышению качества обучения;
- ответственность преподавателя за мониторинг учебной деятельности каждого студента на протяжении курса.

Каждый семестровый курс предлагается оценивать по шкале в 170 баллов. Для получения зачета достаточно набрать 60 баллов. Для дифференцированного зачета или экзамена предлагается шкала описанная выше, обеспечивающая сопоставимость с международной системой оценок:

### 3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов

Цель *самостоятельной работы* - систематизация, закрепление и расширение теоретических и практических знаний с использованием современных информационных технологий и литературных источников. Данная цель может быть достигнута при решении следующего круга задач:

Самостоятельная работа включает:

- изучение ряда вопросов, более широко раскрывающих сущность изучаемых разделов физики;

- выполнение письменных работ.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:

Методика работы с литературными источниками

1. Внимательно ознакомиться с рекомендуемым литературным источником.
2. Составить его краткую аннотацию.
3. Ознакомиться с параграфами (разделами), рекомендованными к изучению.
4. Законспектировать соответствующий материал.
5. Проанализировать список литературных ссылок по изученному разделу.
6. Произвести библиографический поиск возможных литературных источников
7. с описанием рассматриваемой темы (вопросов). Ознакомиться с представлением
8. данной темы в найденных источниках.

Практические рекомендации для подготовки к практическим занятиям (семинарам)

1. Студентам указывается список литературы, по которой можно проработать
2. соответствующий параграф.
3. Обсуждается порядок выполнения практической работы.
4. Обсуждается алгоритм выполнения работы и способы оформления и представления
5. результатов на семинаре.
6. Предлагается выполнить рисунки, чертежи, если это необходимо.
7. Выполненные задания в рукописном виде сдаются преподавателю на следующей лекции или ближайшем практическом занятии.

Практические рекомендации для подготовки к контрольным работам

1. Изучить рекомендуемую литературу.
2. Прорешать задачи, разобранные в конспекте практического занятия.
3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения.
4. Обсудить проблемы, возникшие при решении задач на занятиях с преподавателем.

На тестирование отводится 15 минут. Каждый вариант тестовых заданий включает от 4 до 12 вопросов. За каждый, правильно отвеченный вопрос, дается до 5 баллов в зависимости от его сложности.

В экзаменационный билет включено два теоретических вопроса соответствующие содержанию формируемых компетенций. Экзамен

проводится в устной форме. На ответ студенту отводится 35 минут. За ответ на теоретические вопросы студент может получить максимально оценку 5

### **Критерии оценок на курсовых экзаменах**

В экзаменационный билет рекомендуется включать не менее 3 вопросов, охватывающих весь пройденный материал, также в билетах могут быть задачи и примеры.

Ответы на все вопросы оцениваются максимум **100 баллами**.

**Критерии оценок** следующие:

- **100 баллов** – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разяснять их в логической последовательности.

- **90 баллов** - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разяснять их в логической последовательности, но допускает отдельные неточности.

- **80 баллов** - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разяснять их в логической последовательности, но допускает некоторые ошибки общего характера.

- **70 баллов** - студент хорошо понимает пройденный материал, но не может теоретически обосновывать некоторые выводы.

- **60 баллов** – студент отвечает в основном правильно, но чувствуется механическое заучивание материала.

- **50 баллов**– в ответе студента имеются существенные недостатки, материал охвачен «половинчато», в рассуждениях допускаются ошибки.

- **40 баллов** – ответ студента правилен лишь частично, при разяснении материала допускаются серьезные ошибки.

- **20-30 баллов** - студент имеет общее представление о теме, но не умеет логически обосновать свои мысли.

- **10 баллов** - студент имеет лишь частичное представление о теме.

- **0 баллов** – нет ответа.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

**Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-бальную систему:**

«0 – 50» баллов – неудовлетворительно

«51 – 65» баллов – удовлетворительно

«66 - 85» баллов – хорошо

«86 - 100» баллов – отлично

«51 и выше» баллов – зачет

**Критерии оценки:**



- оценка **«отлично»** выставляется студенту, если студент правильно ответил на теоретический вопрос билета. Показал отличные знания и умения в рамках усвоенного учебного материала. Показал отличное владение навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы;

- оценка **«хорошо»** - студент ответил на теоретический вопрос билета с небольшими неточностями. Показал хорошие знания и умения в рамках усвоенного учебного материала. Показал хорошее владение навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов;

- оценка **«удовлетворительно»** - студент ответил на теоретический вопрос билета с существенными неточностями. Показал удовлетворительные знания и умения в рамках усвоенного учебного материала. Показал удовлетворительное владение навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей;

- оценка **«неудовлетворительно»** - при ответе на теоретический вопрос билета студент продемонстрировал недостаточный уровень знаний и умений. При выполнении комплексного задания билета студент продемонстрировал недостаточный уровень владения умениями и навыками при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.