

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Методические указания по выполнению практических работ

Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Физика Земли и космоса»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	Ошибка! Закладка не определена.
Тема 1. Введение. Молекулярное строение вещества.....	7
Тема 2. Статистический подход к описанию молекулярных явлений.....	8
Тема 3. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы.	Ошибка! Закладка не определена.
Тема 4. Распределение молекул газа по скоростям.	Ошибка! Закладка не определена.
Тема 5. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле.	9
Тема 6. Столкновения молекул в газе. Явления переноса.	10
Тема 7. Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений.	12
Тема 8. Циклические процессы.....	14
Тема 9. Второе начало термодинамики. Энтропия термодинамической системы.	13
Тема 10. Реальные газы. Критические параметры газа Ван-дер-Ваальса.	15
Тема 11. Поверхностные и капиллярные явления в жидкостях.	18
Тема 12. Твердые тела. Кристаллическая решетка.	19
Тема 13. Фазовые переходы первого и второго рода.	17

Введение

Актуальность учебной дисциплины «Молекулярная физика» обусловлена необходимостью формирования у будущих специалистов теоретико-методологических компетенций, практических умений на которых базируется профессиональная деятельность в физике. В современных условиях важнейшим элементом подготовки бакалавров в области физики является формирование у них самостоятельности и культуры научного мышления, способности вести научную и профессиональную деятельность, навыков постановки целей, задач при решении проблемных ситуаций.

Целью практических занятий является формирование профессиональных компетенций бакалавра по направлению 03.03.02 Физика, связанных со способностью осуществлять поиск информации, применять знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности, проводить научные исследования, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

Основные задачи дисциплины:

- понимание физической картины мира при изучении явлений молекулярной физики и термодинамики;
- применение теоретических знаний при решении задач.

В результате изучения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (в соответствии с образовательным стандартом):

ИД-2_{УК-1} осуществляет поиск, отбор и систематизацию информации для определения альтернативных вариантов стратегических решений в проблемной ситуации

ИД-3_{УК-1} определяет и оценивает риски возможных вариантов решений проблемной ситуации, выбирает оптимальный вариант её решения.

ИД-1_{ОПК-1}

использует знания физических законов, процессов, явлений, а также поведение физических объектов при различных внешних условиях, при решении задач в своей профессиональной деятельности.

ИД-2_{ОПК-1}

использует математический аппарат и методы математического и численного моделирования для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования физических систем, явлений и процессов в своей профессиональной деятельности.

ИД-3_{ОПК-1}

способен сформулировать и решить задачу в своей профессиональной деятельности, опираясь на свои знания в области физико-математических и естественных наук.

ИД-1_{ОПК-2}

проводит научные исследования физических объектов и процессов с помощью экспериментальных методов исследования, а также с использованием теоретического анализа и математического и численного моделирования;

ИД-2_{ОПК-2}

проводит обработку полученных экспериментальных данных с использованием методов теории обработки результатов экспериментальных измерений, а также согласно требований нормативных документов

ИД-3_{ОПК-2}

проводит анализ полученных результатов, а также составляет отчет по учебно-исследовательской деятельности, с учетом требований представления результатов исследований, сопоставляя их с известными аналогами

ИД-4_{ОПК-2}

грамотно представляет результаты теоретического и экспериментального исследования в отчетных материалах.

ИД-1_{ПК-1}

способен оценить актуальность решаемой задачи на основе анализа научной литературы и информационных материалов по тематике исследования.

В результате освоения дисциплины студент должен продемонстрировать:

Готовность осуществлять поиск, отбор и систематизацию информации в области молекулярной физики и термодинамики для определения альтернативных вариантов стратегических решений в проблемной ситуации

Готовность определять и оценивать риски возможных вариантов решений проблемной ситуации, выбор оптимального варианта её решения.

Готовность применять основные законы молекулярной физики и термодинамики для решения фундаментальных задач в своей профессиональной деятельности.

Готовность использовать математический аппарат молекулярной физики и термодинамики для описания экспериментального исследования физических систем в своей профессиональной деятельности.

Способен сформулировать и решить задачу в своей профессиональной деятельности, опираясь на свои знания в области молекулярной физики и термодинамики.

Готовность проводить научные исследования физических объектов с помощью экспериментальных методов исследования молекулярной физики и термодинамики.

Готовность проводить обработку полученных экспериментальных данных с использованием методов теории обработки результатов экспериментальных измерений, а также согласно требований нормативных документов.

Готовность проводить анализ полученных результатов, а также составлять отчет по учебно-исследовательской деятельности, с учетом требований представления результатов исследований, сопоставляя их с известными аналогами.

Готовность грамотно представлять результаты экспериментального исследования в отчетных материалах.

Готовность оценить актуальность решаемой задачи на основе анализа научной литературы и информационных материалов в области молекулярной физики и термодинамики по тематике исследования.

Цель данного практикума – описание последовательности, основного содержания, методики выполнения практических занятий по учебному курсу и (или) самостоятельной подготовки к ним. Занятия проводятся в форме практического занятия.

При решении задач практического занятия следует выполнять следующие правила оформления:

1. Условия задач переписываются полностью без сокращений. Обязательно записывается номер задачи с указанием номера лабораторного занятия.

2. Текст и графики должны быть выполнены без помарок и исправлений. Допускается оформление на компьютере.

3. Необходимо указать основные законы и формулы, на которых базируется решение, и дать формулировку этих законов, разъяснив буквенные обозначения формул. Если при решении задач применяется формула, полученная для частного случая, не выражающая какой-нибудь физический закон или не являющаяся определением физической величины, то следует привести ее вывод.

4. Рекомендуется сделать чертеж, эскизный рисунок или построить график, поясняющий содержание задачи или ход решения.

5. Решения задач должны сопровождаться исчерпывающими, но краткими словесными объяснениями, раскрывающими физический смысл употребляемых формул.

6. Необходимо решить задачу в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи или введенных самостоятельно.

7. Ответ задачи в общем виде и числовое значение искомой величины с обязательным указанием размерности, предваряемые словом «**ОТВЕТ:**», записываются отдельно после решения. Решения отдельных задач разделяются.

8. В случае если задание при проверке не зачтено, студент обязан представить его на повторную проверку, включив в его те задачи, решения которых оказались неверными. Повторная работа представляется вместе с незачтенной работой.

9. Студент должен быть готов дать устные пояснения по существу решения задач, входящих в его расчетное задание.

10. При несоответствии оформления работы указанным требованиям она не будет зачтена.

Тема 3. Идеальный газ как модельная термодинамическая система.

Цель занятия: дать доказательства молекулярного строения вещества и масштабах физических величин в молекулярной теории, сформировать представления об основных законах поведения идеального газа

Организационная форма занятия: разбор конкретных ситуаций, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Предмет молекулярной физики.
2. Основные экспериментальные факты, свидетельствующие о дискретном строении вещества.
3. Тепловое движение с точки зрения молекулярных представлений.
4. Масштабы физических величин в молекулярной теории.
5. Модель идеального газа.
6. Равновесное пространственное распределение частиц идеального газа. Флуктуации плотности идеального газа.
7. Молекулярная теория давления идеального газа.
8. Температура. Эмпирические шкалы температур.
9. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона - Менделеева).

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Основная литература: 1-4

Дополнительная литература: 1-4

Интернет ресурсы: 1, 2

Задания для развития и контроля владения компетенциями

1. Оцените среднее расстояние между молекулами воздуха при нормальных условиях.
2. Что называют постоянной Авогадро и числом Лошмидта?
3. Перечислите опытные факты, подтверждающие справедливость трех основных положений молекулярно-кинетической теории строения вещества.
4. Оценить сколько в среднем молекул вылетает с поверхности воды в стакане емкостью 200 мл, если вода испарилась из стакана за три недели.
5. В чем состоят основные признаки различных агрегатных состояний вещества?
6. Сравните объемы 10 мл воды и образовавшегося из нее пара при кипении при нормальном атмосферном давлении.
7. Перечислите решающие эксперименты в области молекулярной физики.
8. Что представляет собой модель идеального газа?
9. Каков молекулярный механизм давления идеального газа на стенки сосуда? Как зависит давление газа от энергии молекул?

10. Покажите, что из уравнения состояния следуют эмпирические газовые законы. Постройте соответствующие зависимости в подходящих координатах.
11. По скольким реперным точкам определяется абсолютная термодинамическая шкала температур в СИ?
12. Какими термометрами и методами измеряются температуры в различных интервалах?
13. Почему в медицинских термометрах используют ртуть, а не спирт или эфир?
14. Рассчитайте: а) температуру T , при которой $kT=1$ эВ; б) величину kT в электрон-вольтах при комнатной температуре $t=20^\circ\text{C}$.
15. Горизонтально расположенный цилиндрический сосуд делится на две части подвижным поршнем. Каково будет положение поршня, если одну часть сосуда заполнили кислородом, а другую часть такой же массой водорода? Длина сосуда 85 см.

Задачи

- [О.4] № 6.4, 6.5, 6.1, 6.7, 6.8, 6.12, 6.13.
 [Д.4] № 8.11-8.15, 8.41, 8.44, 8.45, 8.17, 8.19, 8.22, 8.24, 8.27, 8.30, 8.33, 8.39, 8.40, 9.6, 9.8, 9.11.

Тема 4. Элементарные сведения из теории вероятностей. Распределение скоростей молекул газа. Статистические распределения.

Цель занятия: сформировать представление об основных статистических закономерностях поведения систем многих частиц

Организационная форма занятия: разбор конкретных ситуаций, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Основные понятия теории вероятностей.
2. Биноминальное распределение.
3. Распределение Пуассона и Гаусса.
4. Статистические закономерности и описание системы многих частиц.
5. Распределение Максвелла. Характерные скорости молекул: наивероятнейшая, средняя и среднеквадратичная.
6. Распределение молекул по компонентам скоростей.
7. Экспериментальная проверка распределения Максвелла.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.
2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Основная литература: 1-4

Дополнительная литература: 1-4

Интернет ресурсы: 1, 2

Задания для развития и контроля владения компетенциями

1. Дать определение вероятности.
2. Какое свойство совокупности событий делает возможным нормировку вероятности?
3. Зависит ли среднее значение от переменной, по которой производится усреднение?
4. Что характеризует стандартное отклонение?
5. Какие системы целесообразно рассматривать методами физической статистики?
6. Что утверждает эргодическая гипотеза?
7. Каков источник трудности подсчета числа микросостояний в классической физике?
8. Распределение Максвелла допускает сколь угодно большие скорости и кинетические энергии молекул. Как это согласовать с конечной полной кинетической энергией молекул газа?
9. Какими особенностями распределения Максвелла обуславливается, что средняя скорость больше, чем вероятностная, но меньше, чем среднеквадратичная?
10. В сосуде находится идеальный газ. Предположим, что в некоторый момент времени мы можем с некоторой точностью определить значения скорости всех молекул. Можно ли по этим данным судить о том, находится ли газ в состоянии равновесия?
11. Изобразите график функции распределения для одной из составляющих скорости молекулы. Каково наивероятнейшее значение составляющей? Каково ее среднее значение?
12. Откуда следует, что в состоянии равновесия все части системы имеют одну и ту же температуру?

Задачи

1. Один стрелок дает 80% попаданий в цель, а другой (при тех же условиях стрельбы) 70%. Найти вероятность поражения цели, если оба стрелка стреляют в нее одновременно. Цель считается пораженной при попадании в нее хотя бы одной из двух пуль.

2. Телефонная линия, соединяющая два пункта А и В, отстоящих друг от друга на расстоянии 2 км, порвалась в неизвестном месте. Чему равна вероятность того, что она порвалась не далее чем в 450 м от пункта А?

3. Производившиеся в некотором районе многолетние наблюдения показали, что из 100 000 детей, достигших десятилетнего возраста, до 40 лет доживают в среднем 82 277, а до 70 - 37 977. Найти вероятность того, что если человек достигнет сорокалетнего возраста, то он доживет и до 70 лет.

Задачи

[О.4] № 6.95, 6.96, 6.109, 6.111.

[Д.4] № 10.15, 10.17, 10.20, 10.23, 10.25, 10.27, 10.32, 10.36, 10.40, 10.44.

Тема 5. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле.

Цель занятия: определить особенности распределения молекул во внешнем потенциальном поле

Организационная форма занятия: разбор конкретных ситуаций, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Распределение Больцмана. Барометрическая формула.
2. Распределение Максвелла-Больцмана и его экспериментальная проверка.
3. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.

4. Броуновское движение.

5. Формула Эйнштейна.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Основная литература: 1-4

Дополнительная литература: 1-4

Интернет ресурсы: 1, 2

Задания для развития и контроля владения компетенциями

1. При подъеме частиц в поле тяжести их кинетическая энергия уменьшается. Почему при этом температура в поле тяжести в состоянии равновесия не зависит от высоты?

2. Каким образом распределение Больцмана применяется к смеси газов?

3. Одинаковы ли средние модули скоростей молекул смеси газов при одной и той же температуре?

4. Как распределение Больцмана и Максвелла связаны между собой?

5. Чем вызвана большая погрешность в опытах Перрена?

6. Каким образом определялась плотность вещества частиц в опытах Перрена?

7. Распределение Больцмана применимо для потенциальных полей. Что вы можете сказать о распределении частиц в непотенциальных полях?

8. Постройте графики зависимости концентрации от высоты над поверхностью Земли для азота и для водорода (температура атмосферы считается постоянной). Чем различаются графики?

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

Задачи

[О.4] № 6.16, 6.18, 6.20, 6.21, 6.122, 6.125, 6.126.

[Д.4] № 10.2, 10.4, 10.6, 10.10, 10.12.

Тема 6. Элементы физической кинетики. Явления переноса в газах.

Цель занятия: рассмотреть элементы физической кинетики на примере явлений переноса

Организационная форма занятия: разбор конкретных ситуаций, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Длина свободного пробега. Частота соударений. Газокинетический диаметр. Рассеяние молекулярных пучков в газе.

2. Явления переноса в газах. Диффузия (закон Фика). Внутреннее трение (закон Ньютона – Стокса). Теплопроводность (закон Фурье). Связь коэффициентов переноса с молекулярно-кинетическими характеристиками газа.

3. Явления переноса в ультраразреженных газах. Способы получения и измерения технического и высокого вакуума.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Основная литература: 1-4

Дополнительная литература: 1-4

Интернет ресурсы: 1, 2

Задания для развития и контроля владения компетенциями

1. От каких величин и как зависит средняя длина свободного пробега?
2. Увеличивается или уменьшается поперечное сечение столкновения молекул при увеличении температуры? Как изменяется средняя длина свободного пробега молекул в зависимости от температуры?
3. Что следует знать для определения среднего числа столкновений всех молекул, происходящих в 1с в единице объема, если известно среднее число столкновений одной молекулы в 1с?
4. Что такое «эффективное сечение» молекул?
5. Как понимать термин «столкновения» молекул? От каких параметров зависит среднее число столкновений молекул в единице объема газа в одну секунду?
6. Опишите один из способов непосредственного измерения длины свободного пробега частиц в газе.
7. Чем объяснить, что все явления переноса протекают медленно, хотя все они происходят благодаря быстрым движениям молекул?
8. Как изменяются коэффициенты диффузии, теплопроводности и вязкости при изменении температуры, если газ находится: а) в состоянии, далеко от технического вакуума; б) в состоянии технического вакуума?
9. При каких условиях возникают процессы переноса?
10. Чем различаются условия протекания стационарных и нестационарных процессов переноса? Каков конечный результат протекания процессов переноса в изолированной системе?
11. Когда больше длина свободного пробега в атмосферном воздухе, летом или зимой (атмосферное давление считать постоянным)?
12. Как изменяется число столкновений и длина свободного пробега при нагревании газа в закрытом сосуде?

13. Почему коэффициенты вязкости и теплопроводности не зависят от давления, а коэффициент диффузии зависит?

14. Как меняется молекулярный механизм явлений переноса при переходе к техническому вакууму?

15. Для чего в термосах и сосудах Дьюара делают двойные стенки?

16. Для чего применяются в вакуумной технике азотные ловушки?

17. Какой порядок вакуума позволяют получать современные диффузионные насосы?

Задачи

[О.4] № 6.207, 6.208, 6.210, 6.219, 6.222.

[Д.4] № 10.48, 10.51, 10.55, 10.57, 10.64, 10.69, 10.71, 10.72, 10.77, 10.79.

Тема 7. Термодинамические системы и параметры состояния.

Цель занятия: дать понятие термодинамического метода описания молекулярных явлений, научиться применять первое начало термодинамики к различным процессам, рассчитывать теплоемкость газов

Организационная форма занятия: разбор конкретных ситуаций, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Термодинамические параметры.
2. Нулевое начало термодинамики.
3. Понятие термодинамического равновесия. Квазистатические процессы.
4. Первое начало термодинамики.
5. Теплоемкость системы. Теплоемкость идеального газа. Связь теплоемкости газа с числом степеней свободы молекул. Уравнение Майера.
6. Политропический процесс. Уравнение политропы и его частные случаи.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Основная литература: 1-4

Дополнительная литература: 1-4

Интернет ресурсы: 1, 2

Задания для развития и контроля владения компетенциями

1. При каких условиях систему можно считать изолированной? Является ли изолированной системой газ в воздушном шаре?

2. Какое состояние системы называют равновесным? Почему изолированная система стремится к равновесному состоянию?

3. Какими параметрами определяется равновесное состояние идеального газа? Можно ли определить экспериментально, является ли данное состояние равновесным?
4. Охарактеризуйте различие между внутренними и внешними параметрами.
5. Что называется квазистатическим процессом? Каким образом можно осуществить изотермический, изобарический процессы?
6. Почему в термодинамических задачах нужно рассматривать процессы, как протекающие бесконечно медленно, хотя реальные процессы протекают с конечной скоростью?
7. Как меняется внутренняя энергия данной массы газа в изотермическом, изобарическом, изохорическом процессах?
8. Каков физический смысл универсальной газовой постоянной?
9. Газ совершает над граничащими с ним телами отрицательную работу. Что происходит при этом с объемом газа?
10. Как записать первое начало термодинамики для изохорического, изобарического, изотермического и адиабатического процессов?
11. Какова теплоемкость газа при изотермическом и адиабатическом процессах?
12. Может ли случиться, что газ получает теплоту, а его внутренняя энергия уменьшается?
13. В ходе какого процесса работа, совершаемая телом, равна убыли его внутренней энергии?

Задачи

[О.4] № 6.29, 6.33, 6.36, 6.42, 6.47, 6.53, 6.56, 6.69, 6.72, 6.74, 6.81, 6.84, 6.87.

[Д.4] № 11.6, 11.8, 11.14, 11.23, 11.30, 11.36, 11.40, 11.46, 11.50.

Тема 8. Энтропия.

Цель занятия: дать понятие энтропии и её изменения при различных процессах, обосновать необходимость введения второго начала термодинамики и дать различные его формулировки

Организационная форма занятия: разбор конкретных ситуаций, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Две теоремы Карно. Термодинамическая шкала температур и ее тождественность идеально-газовой шкале.
2. Нестандартные единицы измерения температуры.
3. Неравенство Клаузиуса. Второе начало термодинамики: формулировка Клаузиуса и Томсона (Кельвина).
4. Понятие энтропии термодинамической системы. Закон возрастания энтропии в неравновесной изолированной системе.
5. Энтропия и вероятность. Микро- и макросостояния системы. Термодинамическая вероятность. Принцип Больцмана. Статистическая интерпретация второго начала термодинамики.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по

интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Основная литература: 1-4

Дополнительная литература: 1-4

Интернет ресурсы: 1, 2

Задания для развития и контроля владения компетенциями

1. Как понимать смысл «сама собой» в формулировке второго начала, данной Клаузиусом?

2. Возможно ли передать теплоту от охладителя к нагревателю, не совершая работу?

3. Поясните следующее определение энтропии: «Энтропия есть мера неупорядоченности системы».

4. Как и в каких переменных можно записать дифференциал функции энтропии dS ? Как записать второе начало термодинамики с помощью функции энтропии?

5. Как изменяется энтропия для обратимых и необратимых процессов?

6. Изменяется ли энтропия при адиабатическом процессе?

7. В каком направлении изменяется энтропия системы при приближении этой системы к состоянию термодинамического равновесия для изолированной и неизолированной системы?

8. В чем состоит отличие понимания необратимости в термодинамике и в молекулярно - кинетической теории?

9. Укажите границы применимости первого и второго начал термодинамики.

10. Почему нельзя вычислить макроскопические свойства молекулярной системы методами механики?

11. Может ли энтропия убывать в ходе необратимого процесса?

12. Можно ли утверждать, что живые организмы не подчиняются второму началу термодинамики?

13. Что понимают под вечным двигателем второго рода?

14. Назовите известные вам формулировки второго начала термодинамики.

Задачи

[О.4] № 6.162, 6.168, 6.172, 6.177, 6.180.

[Д.4] № 11.70, 11.73, 11.75.

Тема 9. Обратимые и необратимые процессы. Тепловые машины, холодильники.

Цель занятия: изучить принцип действия тепловых и холодильных машин, научиться рассчитывать КПД циклов

Организационная форма занятия: разбор конкретных ситуаций, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Преобразование теплоты в работу.

2. Нагреватель, рабочее тело, холодильник.

3. Коэффициент полезного действия.

4. Тепловой двигатель и холодильная машина.

5. Цикл Карно и его КПД.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Основная литература: 1-4

Дополнительная литература: 1-4

Интернет ресурсы: 1, 2

Задания для развития и контроля владения компетенциями

1. Система переведена из известного состояния 1 в другое известное состояние 2 при помощи некоторого неизвестного квазистатического процесса. Можно ли определить совершенную работу? Полученное количество тепла? Приращение внутренней энергии?

2. Газ сжимают от объема V_1 (давление P_1) до объема V_2 изотермически, изобарно, адиабатно. При каком процессе для этого нужно затратить большую работу? Поясните ответ графически.

3. Почему для работы тепловой машины необходим циклический процесс? Каковы роли нагревателя и холодильника?

4. В чем состоит преимущество цикла Карно перед другими? Как изменится КПД цикла, если рабочее тело охлаждать не за счет адиабатического процесса, а непосредственно в холодильнике? Почему?

5. Изобразите цикл Карно в координатах TS . Определите с помощью графика КПД цикла.

6. Возможен ли процесс, при котором вся теплота, заимствованная от резервуара, превращается в работу?

7. Как изменится температура воздуха в комнате, если бытовой холодильник будет работать с открытой дверцей?

8. Докажите теорему Карно, используя свойства энтропии как функции состояния.

9. Каков физический смысл площади, ограниченной кривой цикла, на диаграммах состояния в различных переменных?

Задачи

[О.4] № 6.138, 6.140, 6.144, 6.150, 6.154.

[Д.4] № 11.54, 11.57, 11.59, 11.61, 11.63, 11.66, 11.68.

Тема 11. Реальные газы.

Цель занятия: дать понятие основных свойств реальных газов и их отличия от идеальных

Организационная форма занятия: разбор конкретных ситуаций, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
2. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
3. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние.
4. Область двухфазных состояний. Метастабильные состояния. Критические параметры.
5. Закон соответственных состояний.
6. Силы межмолекулярного взаимодействия. Потенциал Леннарда - Джонса.
7. Эффект Джоуля - Томсона. Методы получения низких температур.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Основная литература: 1-4

Дополнительная литература: 1-4

Интернет ресурсы: 1, 2

Задания для развития и контроля владения компетенциями

1. В чем состоят основные отличия модели реального газа от модели идеального газа?
2. Можно ли экспериментально обнаружить существование сил молекулярного взаимодействия?
3. От каких параметров состояния зависит внутренняя энергия реального газа?
4. Можно ли, не охлаждая вещество ниже критической температуры, перевести его в жидкое состояние?
5. Почему переохлажденный пар и перегретая жидкость называются метастабильными состояниями?
6. Какие соображения позволяют выбрать давление, при котором должна быть проведена горизонтальная изотерма реального газа, соответствующая двухфазному состоянию?
7. Каким способом можно получить пересыщенный пар?
8. Изобразите зависимость давления от температуры для случая нагревания жидкости в герметически закрытом жестком сосуде. (Сосуд был герметизирован при нормальных условиях, над жидкостью находится некоторое количество воздуха).
9. Как наглядно объяснить зависимость знака дифференциального эффекта Джоуля-Томсона от давления газа?
10. Чем объясняется, что в процессе дросселирования при комнатной температуре водород нагревается, а кислород охлаждается?
11. Запаянную ампулу, емкость которой равна критическому объему находящейся в ней жидкости, нагревают от температуры ниже критической до температуры выше критической. Во время эксперимента ведут наблюдения за теневой проекцией трубки. Что наблюдается в момент наступления критического состояния вещества?

12. Какие физические явления лежат в основе методов Линде и Клода для сжижения газов и получения низких температур?

13. От каких параметров зависит температура инверсии? Каков физический смысл температуры инверсии?

14. Приведите примеры газов, для которых при нормальных условиях эффект Джоуля-Томсона имеет различный знак.

15. Каково соотношение между температурой инверсии и критической температурой данного газа?

Задачи

[О.4] № 6.22, 6.24, 6.58, 6.179.

[Д.4] № 12.3, 12.5, 12.10, 12.17, 12.19, 12.23, 12.27.

Тема 13. Фазовые переходы первого и второго рода.

Цель занятия: сформировать представление о фазовых переходах и их видах

Организационная форма занятия: разбор конкретных ситуаций, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Фазовые переходы первого рода.
2. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Скрытая теплота перехода.
3. Тройная точка. Фазовые переходы второго рода.
4. Аномалии теплового расширения при фазовых переходах.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Основная литература: 1-4

Дополнительная литература: 1-4

Интернет ресурсы: 1, 2

Задания для развития и контроля владения компетенциями

1. Могут ли существовать в равновесии жидкая вода, ее пар и две кристаллические модификации льда?

2. В какой точке заканчивается кривая сублимации?

3. Почему применяемый для охлаждения сухой лед (твердая углекислота) на воздухе не плавится?

4. В чем состоит физическая сущность процесса кипения? Как зависит температура кипения от атмосферного давления?

5. Как зависит температура плавления от давления? Каковы особенности этой зависимости для льда?

6. Для изменения точки кипения воды на один градус достаточно давление изменить на 27 мм рт. ст. Меньшее или большее изменение давления понадобится для такого же изменения точки плавления льда?

7. Как выглядят кривые фазового равновесия в различных переменных?

8. Каковы два возможных хода кривых плавления на p, T - диаграмме вещества?

9. В чем заключается разница между фазовыми переходами первого и второго рода?

Задачи

[О.4] № 6.327, 6.330, 6.344, 6.348, 6.354, 6.360.

Тема 14. Свойства жидкого состояния.

Цель занятия: дать понятие природы и основных свойств жидкого состояния вещества

Организационная форма занятия: разбор конкретных ситуаций, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Коэффициент поверхностного натяжения. Краевой угол.

2. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Формула Лапласа.

3. Капиллярные явления.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Основная литература: 1-4

Дополнительная литература: 1-4

Интернет ресурсы: 1, 2

Задания для развития и контроля владения компетенциями

1. Молекулы жидкости, подобно частицам твердого тела, совершают колебания около некоторых положений равновесия. В чем же отличие в поведении молекул жидких тел от поведения молекул в газах и твердых телах.

2. Два мыльных пузыря с радиусами r_1 и r_2 сливаются в один пузырь радиуса r . Определите атмосферное давление. Коэффициент поверхностного натяжения мыльной пленки равен σ .

3. Оцените размер атома ртути, если известны коэффициент поверхностного натяжения, плотность и удельная теплота парообразования ртути.

4. Сосуд с горячей водой опущена капиллярная трубка. Сохранится ли уровень воды в трубке при остывании жидкости?

5. Чем обусловлено стремление жидкостей к сокращению своей поверхности?

6. В опыте Плато капля оливкового масла помещается в смесь спирта с водой такой плотности, что капля масла находится во взвешенном состоянии. Какова форма капли масла?

7. В две одинаковые горизонтальные стеклянные трубки, расширяющиеся к одному концу, ввели различные жидкости. При каком условии капли жидкости в трубках перемешаются в противоположные стороны?

8. Почему структуру жидкостей называют квазикристаллической?

Задачи

[О.4] № 6.295, 6.299, 6.302, 6.307, 6.314.

[Д.4] № 12.31, 12.37, 12.39, 12.44.

Тема 15. Кристаллическое состояние вещества.

Цель занятия: дать понятие природы и основных свойств кристаллического состояния вещества

Организационная форма занятия: разбор конкретных ситуаций, решение задач

Вопросы, выносимые на обсуждение:

1. Кристаллические и аморфные состояния.
2. Кристаллы. Симметрия кристаллов.
3. Элементарная ячейка. Сингонии. Решетка Браве. Индексы Миллера. Изоморфизм и полиморфизм. Фазы переменного состава.
4. Дефекты в кристаллах.
5. Понятие о жидких кристаллах.

Методические рекомендации

При подготовке к разбору указанных вопросов необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Предварительно необходимо ознакомиться с рекомендуемой литературой (основной и дополнительной), найти необходимую информацию в сети Интернет, выявить новые аспекты проблемы и уже поставленные и изученные способы ее решения. Помимо рекомендуемой литературы студент сам может дополнительно подобрать и изучить литературу по интересующей его проблеме.

2. Во время работы с выбранными источниками желательно делать записи, которыми можно будет воспользоваться во время выступления в ходе разбора конкретных вопросов. Записи (в различной форме, например, конспект, план, аннотация, резюме, тезисы, цитаты) не только способствуют пониманию и усвоению изучаемого материала, но и помогают вырабатывать навыки ясного изложения в письменной форме тех или иных теоретических вопросов. Делая записи, не следует забывать об их оформлении. Необходимо указывать фамилию автора изучаемого материала, полное название работы, место и год ее издания. Целесообразно указывать страницы.

Основная литература: 1-4

Дополнительная литература: 1-4

Интернет ресурсы: 1, 2

Задания для развития и контроля владения компетенциями

1. Каков физический смысл понятия «твердое тело»?
2. Как доказать, что свинец - кристаллическое, а не аморфное тело?
3. Какие эксперименты подтвердили предположение о существовании кристаллических решеток твердых тел?
4. Какие специфические свойства кристаллов связаны с их симметрией и анизотропией?
5. Железо, медь, алюминий и другие металлы являются твердыми телами. Почему же практически не наблюдаются явления, объясняемые анизотропией этих тел?
6. Как принято классифицировать кристаллы по типам сил связи частиц в кристалле?
7. Что такое примитивная решетка?

8. Что такое приведенная примитивная решетка?
9. Сводится ли, вообще говоря, кристаллическая решетка к одной примитивной решетке?
10. Сколько типов кристаллических систем имеется? Сколько имеется типов примитивных параллелепипедов Браве?
11. Как обозначаются направления и плоскости в кристаллах?
12. Реальный кристалл не имеет идеальной структуры кристаллической решетки. Перечислите и дайте схемы точечных и одномерных дефектов кристаллической решетки.
13. Какие физические свойства монокристалла зависят от числа дислокаций в единице объема, а какие не зависят?

Задачи

1. Сколько молекул NaCl входит в элементарную ячейку поваренной соли?
2. Постоянная кристаллической решетки поваренной соли равна $a = 5,64 \cdot 10^{-10}$ м. Определите плотность монокристалла NaCl.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

**Методические указания для обучающихся по организации и проведению
самостоятельной работы**

Направление подготовки 03.03.02 Физика
Направленность (профиль)
«Физика Земли и космоса»

**Ставрополь
2026**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	23
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ	
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ	

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студента).

Самостоятельная работа студента является важным видом учебной и научной деятельности студента. Федеральным государственным образовательным стандартом предусматривается значительный объем времени из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому самостоятельная работа должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи профессионального образования – подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности.

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы студентов над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста студентов, воспитание творческой активности и инициативы.

Самостоятельная работа студента предполагает, прежде всего, его научно-исследовательскую и практическую деятельность, поскольку именно эти виды учебной работы в первую очередь готовят к самостоятельному выполнению профессиональных задач. Конечной целью самостоятельной работы является организация самостоятельной познавательной деятельности, формирование умения самостоятельно анализировать информацию, выделять главное и второстепенное.

Основными формами самостоятельной работы студентов по дисциплине «Оптика» являются:

- подготовка к практическому занятию;
- самостоятельное изучение литературы;
- подготовка к экзамену.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ И ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

При подготовке к занятиям необходимо:

- повторить материал соответствующих лекций;
- внимательно изучить описание лабораторного занятия, изложенное в практикуме;
- ответить на вопросы по содержанию лабораторного занятия, задаваемые преподавателем на предварительном опросе перед выполнением заданий.

Все лабораторные занятия предполагают выполнение заданий, решение задач.

В результате выполнения заданий достигаются следующие результаты обучения:

- развитие мышления и творческих способностей студента,
- приобретение и закрепление навыков самостоятельной работы,
- приобретение и закрепление навыков оформления и составления письменных заданий.

Примерные вопросы по содержанию лабораторных и практических занятий.

Тема 1. Введение. Молекулярное строение вещества.

1. Предмет молекулярной физики.
2. Масштабы физических величин в молекулярной теории.
3. Основные экспериментальные факты, свидетельствующие о дискретном строении вещества.
4. Тепловое движение с точки зрения молекулярных представлений.

Тема 2. Статистический подход к описанию молекулярных явлений.

1. Основные понятия теории вероятностей.
2. Статистические закономерности и описание системы многих частиц.
3. Статистический подход к описанию молекулярных явлений.
4. Биноминальное распределение.
5. Распределение Пуассона и Гаусса.

Тема 3. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы.

1. Модель идеального газа.
2. Молекулярная теория давления идеального газа.
3. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона - Менделеева).
4. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы.
5. Равновесное пространственное распределение частиц идеального газа. Флуктуации плотности идеального газа.
6. Температура. Эмпирические шкалы температур.

Тема 4. Распределение молекул газа по скоростям.

1. Распределение Максвелла. Характерные скорости молекул: наивероятнейшая, средняя и среднеквадратичная.
2. Экспериментальная проверка распределения Максвелла.
3. Распределение молекул по компонентам скоростей.

Тема 5. Идеальный газ во внешнем потенциальном поле.

6. Распределение Больцмана. Барометрическая формула.
7. Броуновское движение.
8. Распределение Максвелла-Больцмана и его экспериментальная проверка.

9. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы.
10. Формула Эйнштейна.

Тема 6. Столкновения молекул в газе. Явления переноса.

4. Длина свободного пробега. Частота соударений. Газокинетический диаметр. Рассеяние молекулярных пучков в газе.
5. Явления переноса в газах. Диффузия (закон Фика). Внутреннее трение (закон Ньютона – Стокса). Теплопроводность (закон Фурье). Связь коэффициентов переноса с молекулярно-кинетическими характеристиками газа.
6. Явления переноса в ультраразреженных газах.
7. Способы получения и измерения технического и высокого вакуума.

Тема 7. Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений.

7. Термодинамические параметры.
8. Нулевое начало термодинамики.
9. Первое начало термодинамики.
10. Теплоемкость системы. Теплоемкость идеального газа. Связь теплоемкости газа с числом степеней свободы молекул. Уравнение Майера.
11. Понятие термодинамического равновесия. Квазистатические процессы.
12. Политропический процесс. Уравнение политропы и его частные случаи.

Тема 8. Циклические процессы.

6. Преобразование теплоты в работу.
7. Нагреватель, рабочее тело, холодильник.
8. Коэффициент полезного действия.
9. Тепловой двигатель.
10. Цикл Карно и его КПД.
11. Холодильная машина.
12. Циклы реальных двигателей внутреннего сгорания.

Тема 9. Второе начало термодинамики. Энтропия термодинамической системы.

6. Две теоремы Карно. Термодинамическая шкала температур и ее тождественность идеально-газовой шкале.
7. Понятие энтропии термодинамической системы. Закон возрастания энтропии в неравновесной изолированной системе.
8. Нестандартные единицы измерения температуры.
9. Неравенство Клаузиуса. Второе начало термодинамики: формулировка Клаузиуса и Томсона (Кельвина).
10. Энтропия и вероятность. Микро- и макросостояния системы. Термодинамическая вероятность. Принцип Больцмана. Статистическая интерпретация второго начала термодинамики.

Тема 10. Реальные газы. Критические параметры газа Ван-дер-Ваальса.

8. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
9. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
10. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние.
11. Силы межмолекулярного взаимодействия. Потенциал Леннарда - Джонса.
12. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние.
13. Область двухфазных состояний. Метастабильные состояния. Критические параметры.

14. Закон соответственных состояний.
15. Эффект Джоуля - Томсона. Методы получения низких температур.

Тема 11. Поверхностные и капиллярные явления в жидкостях.

4. Коэффициент поверхностного натяжения. Краевой угол.
5. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Формула Лапласа.
6. Капиллярные явления.

Тема 12. Твердые тела. Кристаллическая решетка.

6. Кристаллические и аморфные состояния.
7. Кристаллы. Симметрия кристаллов.
8. Элементарная ячейка. Сингонии. Решетка Браве. Индексы Миллера. Изоморфизм и полиморфизм. Фазы переменного состава.
9. Дефекты в кристаллах.
10. Понятие о жидких кристаллах.

Тема 13. Фазовые переходы первого и второго рода.

5. Фазовые переходы первого рода.
6. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Скрытая теплота перехода.
7. Тройная точка. Фазовые переходы второго рода.
8. Аномалии теплового расширения при фазовых переходах.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЭКЗАМЕНУ

Для подготовки к ответам на экзаменационные вопросы обучающиеся должны использовать не только курс лекций и основную литературу, но и дополнительную литературу для выработки умения давать развернутые ответы на поставленные вопросы.

Ответы на теоретические вопросы должны быть даны в соответствии с формулировкой вопроса и содержать не только изученный теоретический материал, но и собственное понимание проблемы.

В ответах желательно привести примеры из практики.

Подготовку к экзамену по дисциплине необходимо начать с проработки основных вопросов, список которых приведен в рабочей программе дисциплины.

Для этого необходимо прочесть и уяснить содержание теоретического материала по учебникам и учебным пособиям по дисциплине. Список основной и дополнительной литературы приведен в рабочей программе дисциплины и может быть дополнен и расширен самими студентами.

Особое внимание при подготовке к экзамену необходимо уделить терминологии, т.к. успешное овладение любой дисциплиной предполагает усвоение основных понятий, их признаков и особенности.

Таким образом, подготовка к экзамену включает в себя:

- проработку основных вопросов курса;
- чтение основной и дополнительной литературы по темам курса;
- подбор примеров из практики, иллюстрирующих теоретический материал курса;
- выполнение промежуточных и итоговых тестов по дисциплине;
- систематизацию и конкретизацию основных понятий дисциплины;
- составление примерного плана ответа на экзаменационные вопросы.

Вопросы к экзамену

1. Предмет молекулярной физики. Методы исследования молекулярной физики: термодинамический и статистический.
2. Масштабы физических величин в молекулярной теории: массы и размеры молекул. Число Авогадро.
3. Модель идеального газа. Законы идеального газа.
4. Равновесное пространственное распределение частиц идеального газа. Биноминальное распределение (распределение Бернулли). Предельные случаи биномиального распределения: распределения Пуассона и Гаусса.
5. Молекулярная теория давления идеального газа. Основное уравнение МКТ.
6. Газовые законы. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона - Менделеева).
7. Элементарные сведения из теории вероятностей: теоремы сложения и умножения вероятностей. Функция распределения вероятностей. Нахождение средних значений.
8. Распределение Максвелла. Характерные скорости молекул: наивероятнейшая, средняя и среднеквадратичная
9. Распределение молекул по компонентам скоростей. Экспериментальная проверка распределения Максвелла.
10. Распределение Больцмана. Барометрическая формула и атмосферы планет.
11. Распределение Максвелла-Больцмана.
12. Столкновения молекул в газе. Длина свободного пробега. Частота соударений.
13. Явление переноса в газах. Диффузия: закон Фика.
14. Явление переноса в газах. Внутреннее трение (перенос импульса): закон Ньютона.

15. Явление переноса в газах. Теплопроводность: закон Фурье.
16. Явление переноса в газах. Связь коэффициентов переноса с молекулярно-кинетическими характеристиками газа.
17. Температурные шкалы. Способы измерения температуры и виды термометров.
18. Вакуум. Способы получения и измерения вакуума.
19. Вакуум. Явления переноса в разреженных газах.
20. Термодинамические параметры. Нулевое начало термодинамики. Понятие термодинамического равновесия. Квазистатические процессы. Обратимые и необратимые процессы.
21. Внутренняя энергия системы. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Формы энергообмена между системами – теплота и работа. Первое начало термодинамики.
22. Теплоёмкость системы. Теплоёмкость идеального газа. Связь теплоёмкости газа с числом степеней свободы молекул. Уравнение Майера.
23. Политропический процесс. Уравнение политропы и его частные случаи.
24. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона.
25. Преобразование теплоты в работу. Циклические процессы. Коэффициент полезного действия. Цикл Карно и его КПД.
26. Тепловой двигатель и холодильная машина. История конструкции тепловых машин.
27. Энтропия. Неравенство Клаузиуса. Второе начало термодинамики. Формулировка Клаузиуса и Томсона (Кельвина).
28. Приведенная теплота и энтропия. Энтропия идеального газа.
29. Микро- и макросостояния системы. Закон возрастания энтропии в неравновесной изолированной системе. Энтропия и вероятность.
30. Термодинамическая вероятность. Принцип Больцмана. Статистическая интерпретация второго начала термодинамики.
31. Третье начало термодинамики. Теорема Нернста и следствия из нее.
32. Функции состояния термодинамических систем – термодинамические функции. Энтальпия, свободная энергия, термодинамический потенциал.
33. Термодинамические функции. Соотношения Максвелла.
34. Критерии устойчивости термодинамических систем. Принцип Ле-Шателье-Брауна.
35. Реальные газы – учет взаимодействия и размеров молекул. Силы межмолекулярного взаимодействия. Потенциал Леннарда-Джонса.
36. Экспериментальные изотермы реального газа.
37. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
38. Эффект Джоуля – Томсона, дифференциальный эффект.
39. Эффект Джоуля – Томсона, интегральный эффект.
40. Реальные газы. Область двухфазных состояний. Метастабильные состояния. Закон соответственных состояний.
41. Методы получения низких температур. Сжижение газов.
42. Свойства жидкого состояния. Свободная энергия. Поверхностное натяжение.
43. Свойства жидкого состояния. Смачивание. Краевой угол.
44. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Формула Лапласа. Капиллярные явления.
45. Свойства жидкого состояния. Давление насыщенных паров над менисками.
46. Кристаллические и аморфные состояния. Кристаллы. Симметрия кристаллов.
47. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Классификация кристаллических решеток.
48. Дефекты в кристаллах. Дислокации. Понятие о жидких кристаллах.
49. Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода.
50. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Скрытая теплота перехода.

51. Фазовые диаграммы. Тройная точка. Фазовые переходы второго рода.

Задачи к экзамену

1. В сосуде вместимостью $V=1,12$ л находится азот при нормальных условиях. Часть молекул газа при нагревании до некоторой температуры оказалась диссоциированной на атомы. Степень диссоциации 0,3. Определить количество вещества: 1) ν — азота до нагревания; 2) $\nu_{\text{мол}}$ — молекулярного азота после нагревания; 3) $\nu_{\text{ат}}$ — атомарного азота после нагревания; 4) $\nu_{\text{пол}}$ — всего азота после нагревания.
2. Оболочка воздушного шара вместимостью $V=800$ м³ целиком заполнена водородом при температуре $T_1=273$ К. На сколько изменится подъемная сила шара при повышении температуры до $T_2=293$ К? Считать вместимость V оболочки неизменной и внешнее давление нормальным. В нижней части оболочки имеется отверстие, через которое водород может выходить в окружающее пространство.
3. В оболочке сферического аэростата находится газ объемом $V=1500$ м³, заполняющий оболочку лишь частично. На сколько изменится подъемная сила аэростата, если газ в аэростате нагреть от $T_0=273$ К до $T=293$ К? Давления газа в оболочке и окружающего воздуха постоянны и равны нормальному атмосферному давлению.
4. Используя функцию распределения молекул по скоростям, определить наиболее вероятное значение энергии E_v .
5. Цилиндр радиусом $R_1=10$ см и длиной $l=30$ см расположен внутри цилиндра радиусом $R_2=10,5$ см так, что оси обоих цилиндров совпадают. Малый цилиндр неподвижен, большой вращается относительно геометрической оси с частотой $n=15$ с⁻¹. Динамическая вязкость газа, в котором находятся цилиндры, равна 8,5 мкПа·с. Определить: 1) касательную силу f , действующую на поверхность внутреннего цилиндра площадью $S=1$ м²; 2) вращающий момент M , действующий на этот цилиндр.
6. Одноатомный газ, содержащий количество вещества $\nu=0,1$ кмоль, под давлением $p_1=100$ кПа занимал объем $V_1=5$ м³. Газ сжимался изобарно до объема $V_2=1$ м³, затем сжимался адиабатно и расширялся при постоянной температуре до начальных объема и давления. Построить график процесса. Найти: 1) температуры T_1 , T_2 , объемы V_1 , V_2 и давление p_2 , соответствующее характерным точкам цикла; 2) количество теплоты Q_1 , полученное газом от нагревателя; 3) количество теплоты Q_2 , переданное газом охладителю; 4) работу A , совершенную газом за весь цикл; 5) термический КПД η цикла.
7. Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества $\nu=1$ моль и находящийся под давлением $p_1=0,1$ МПа при температуре $T_1=300$ К, нагревают при постоянном объеме до давления $p_2=0,2$ МПа. После этого газ изотермически расширился до начального давления и затем изобарно был сжат до начального объема V_1 . Построить график цикла. Определить температуру T газа для характерных точек цикла и его термический КПД η .
8. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_1 нагревателя в три раза выше температуры T_2 охладителя. Нагреватель передал газу количество теплоты $Q_1=42$ кДж. Какую работу A совершил газ?
9. Лед массой $m_1=2$ кг при температуре $t_1=0^\circ\text{C}$ был превращен в воду той же температуры с помощью пара, имеющего температуру $t_2=100^\circ\text{C}$. Определить массу m_2 израсходованного пара. Каково изменение ΔS энтропии системы лед–пар?
10. Оценить радиус r мелких шарообразных частичек вещества, взвешенных в жидкости, если при увеличении высоты на $h=0,013$ мм концентрация частичек вещества уменьшается в 2 раза. Температура жидкости $t=27^\circ\text{C}$, плотность жидкости 900 кг/м³, плотность вещества частичек 1200 кг/м³.
11. Идеальный газ (гелий), имеющий температуру T , находится внутри цилиндра высоты H и радиуса r_0 . Газ вместе с цилиндром вращается вокруг оси цилиндра с угловой скоростью ω . Во сколько раз концентрация молекул у стенок цилиндра превосходит их

концентрацию на расстоянии $r = r_0/2$ от оси цилиндра.

12. Зная функцию распределения молекул по скоростям, вывести формулу наиболее вероятного импульса молекул идеального газа. Определить, во сколько раз средний импульс молекул идеального газа отличается от наиболее вероятного значения импульса при той же температуре.

13. Идеальный одноатомный газ совершает циклический процесс, состоящий из изохорного нагревания, в котором давление увеличивается в 4 раза, изобарного нагревания, в котором объем увеличивается на 30%, и возвращения в исходное состояние в процессе, где давление линейно зависит от объема. Найдите КПД (в процентах) цикла.

14. Теплоизолированный цилиндр разделен на две секции объемом V_0 каждая невесомым поршнем, который может передвигаться без трения. Первоначально поршень закреплен, в одной секции цилиндра находится 1 моль идеального газа, а другая пуста. Затем поршень получает возможность свободно перемещаться, и происходит самопроизвольное необратимое расширение газа. Определить изменение температуры и энтропии после установления равновесного состояния.

15. Насыщенные пары находятся в термодинамическом равновесии с жидкостью при температуре T_0 и давлении P_0 . Найти зависимость давления от температуры в достаточно узком интервале температур. В этой области температур можно считать, что молярная скрытая теплота испарения L не зависит от температуры, и молярный объем жидкости пренебрежимо мал по сравнению с молярным объемом пара.

16. Оценить изменение температуры плавления льда ΔT при повышении давления на 1 атм. В исходном состоянии ($P = 1$ атм., $t = 0^\circ\text{C}$) известны: удельная теплота плавления льда $L = 335$ Дж/г, удельный объем льда $v_2 = 1,091$ см³/г, удельный объем воды $v_1 = 1,000$ см³/г.

17. Одинаковое количество по 50 молей водорода и кислорода находятся в разных сосудах, имеющих одинаковые объемы $V_1 = V_2 = V = 20$ литров. Оба газа подчиняются уравнению Ван-дер-Ваальса, в котором постоянные a для водорода и кислорода равны, соответственно, $a_1(\text{H}_2) = 0,024$ [м⁶Па/моль²], $a_2(\text{O}_2) = 0,14$ [м⁶Па/моль²], а постоянные b можно считать одинаковыми $b_1 = b_2$. Определить, насколько будут отличаться давления на стенки сосудов, содержащих водород и кислород.

18. Два сосуда с объемами $V_1 = 1$ литр и $V_2 = 2V_1$ соединены трубкой малого объема с закрытым краном. В каждом сосуде находится по одному молю одного и того же газа, подчиняющегося уравнению Ван-дер-Ваальса. Определить насколько изменится температура газа после открытия крана и установления термодинамического равновесия, если до открытия крана температура газа в обоих сосудах была одинакова. Теплоемкостью и теплопроводностью стенок сосудов и соединяющей их трубки можно пренебречь. Молярную теплоемкость газа при изохорическом процессе считать постоянной и равной $C_v = 2,5R$. Постоянная Ван-дер-Ваальса, учитывающая силы притяжения между молекулами газа, равна $a = 0,24$ [м⁶Па/моль²].

19. Две вертикальные параллельные друг другу стеклянные пластины частично погружены в спирт, коэффициент поверхностного натяжения которого равен 0,022 Н/м, плотность 0,79 г/см³. Расстояние между пластинами $d = 0,2$ мм, ширина их $l = 20$ см. Оценить, на какую высоту h относительно поверхности спирта в сосуде поднимется спирт между пластинами и какую силу f надо приложить к каждой из пластин, чтобы не допустить их сближения. Считать, что смачивание полное и что спирт между пластинами не доходит до их верхних краев.

20. Капилляр с запаянным верхним концом, внутренним радиусом $r = 0,44$ мкм и длиной $l = 30$ см вертикально опускают в широкий сосуд с жидкостью так, что этот капилляр оказывается погруженным на половину своей длины. При этом жидкость поднимается в капилляре на высоту $h = 1/4$ над ее уровнем в сосуде. Жидкость полностью смачивает стенки капилляра, ее плотность равна 1,26 г/см³. Атмосферное давление $P_A = 10^5$ Па.

Определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

21. Квазистатическое расширение идеального газа происходит по закону $V = aP^{-1/2}$, где $a = \text{const}$. Определить молярную теплоемкость газа в этом процессе, если его молярная теплоемкость при изохорическом процессе известна и равна C_V .

22. В сосуде при комнатной температуре находится смесь идеальных газов: $m_1 = 4$ кг одноатомного неона и $m_2 = 1$ кг двухатомного водорода. Определить удельную теплоемкость смеси в изохорическом процессе C_{Vm} . Молярные массы неона и водорода равны, соответственно, 20 г/моль, 2 г/моль.

23. Металлический чайник с водой нагревается на газовой плите. Вода кипит и образуется пар с постоянной скоростью выделения $3,3 \cdot 10^{-2}$ г/с. Удельная теплота парообразования воды равна $L = 2,2 \cdot 10^6$ Дж/кг. Дно чайника площадью $S = 0,03$ м² покрыто накипью толщиной $l = 1$ мм. Коэффициент теплопроводности накипи 1,25 Дж/(с*м*град). Считая теплопроводность металла, из которого изготовлен чайник, значительно больше теплопроводности накипи, оценить разность температур между наружной поверхностью дна чайника и поверхностью накипи, контактирующей с водой.

24. Температура гелия (молярная масса 4 г/моль), распределение молекул которого по скоростям можно считать максвелловским, изменилась от $T_1 = 200$ К до $T_2 = 400$ К. Число молекул, скорости которых лежат в узком интервале скоростей от V до $V + \Delta V$, осталось прежним. Определить скорость этих молекул.