

# Структура и содержание учебных занятий курса «Общая физика (молекулярная физика и термодинамика)»

**Введение.** Предмет молекулярной физики, статистической физики и термодинамики.

## 1. Газообразное состояние.

- 1.1. **Масса и размеры молекул.** Атомы и молекулы. Относительная атомная масса. Молекулярная масса. Атомная единица массы. Количество вещества. Моль. Постоянная Авогадро. Молярная масса. Пример. Опыт Рэлея (измерение размера молекул).
- 1.2. **Состояние системы. Процесс.** Понятие системы. Равновесное и неравновесное состояние. Параметры состояния. Релаксация. Равновесный и обратимый процесс. Круговой процесс (цикл).
- 1.3. **Первое начало термодинамики.** Внутренняя энергия. Свойства. Работа. Формулировка первого начала. Механический эквивалент тепла. Сохранение энергии.
- 1.4. **Работа, совершаемая телом при изменении объёма.** Случай цилиндрического сосуда с газом. Общий случай. Дифференциальная форма первого начала термодинамики.
- 1.5. **Температура.** Связь с другими характеристиками. Построение шкалы по опорным точкам. Шкалы Цельсия, Кельвина, Фаренгейта и Ранкина. Термометры.
- 1.6. **Уравнение состояния идеального газа.** Общая форма записи уравнения состояния. Математическая модель идеального газа. Опыты Бойля, Мариотта, Гей-Люссака и Шарля. Закон Авогадро. Уравнение состояния Менделеева—Клапейрона. Универсальная газовая постоянная. Постоянная Больцмана. Плотность идеального газа. Газовые температурные шкалы. Закон Дальтона.
- 1.7. **Внутренняя энергия и теплоёмкость идеального газа.** Понятие теплоёмкости. Молярная и удельная теплоёмкости. Теплоёмкость при постоянном объёме и постоянном давлении. Соотношение Майера. Смысл универсальной газовой постоянной. Показатель адиабаты. Опыт Джоуля (превращение тепла в работу).
- 1.8. **Уравнение адиабаты идеального газа.** Изохорический, изобарический и изотермический процессы. Диаграмма состояния. Изотерма идеального газа. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Адиабата идеального газа. Пример с распространением звуковой волны.
- 1.9. **Политропические процессы.** Понятие политропического процесса. Уравнение процесса и показатель политропы. Частные случаи политропического процесса.
- 1.10. **Работа, совершаемая идеальным газом при различных процессах.** Неизотермический случай. Изотермический случай. Другие частные случаи.
- 1.11. **Ван-дер-ваальсовский газ.** Поведение реальных газов при больших давлениях. Поправки Ван-дер-Ваальса. Предельный переход к уравнению состояния идеального газа. Внутренняя энергия ван-дер-ваальсовского газа.

Другие уравнения, приближённо описывающие состояние реальных газов: уравнения Бергго, Дитеричи, Редлиха—Квонга, Клаузиуса, Вольфа, Битти—Бриджмена, Бенедикта—Вебба—Рубина. Вириальные разложения.

- 1.12. **Барометрическая формула.** Атмосферное давление. Вес столба газа. Изотермический случай. Барометрическая формула. Свойства.

## 2. Элементы статистической физики.

- 2.1. **Некоторые сведения из теории вероятностей.** Измерения. Генеральная совокупность. Статистический ансамбль. Относительная частота и вероятность появления результата. Дискретная случайная величина. Свойства закона распределения. Выборочное среднее. Математическое ожидание. Случай непрерывно распределённой случайной величины. Функция распределения вероятностей. Свойства. Плотность распределения. Свойства.
- 2.2. **Характер теплового движения молекул.** Равновесие и принцип детального равновесия. Изотропность. Поток молекул в выбранном направлении. Связь со сферической системой координат.
- 2.3. **Число ударов молекул о стенку.** Интегрирование потока частиц. Частота столкновений с единичной поверхностью.
- 2.4. **Давление на стенку.** Импульс молекулы, передаваемый стенке сосуда. Связь с давлением. Интегрирование импульса. Связь с кинетической энергией поступательного движения.
- 2.5. **Средняя энергия молекул.** Число степеней свободы молекулы. Поступательные, вращательные и колебательные степени свободы. Равнораспределение энергии по степеням свободы. Средняя энергия молекулы. Связь со структурой молекулы. Связь со внутренней энергией идеального газа. Зависимость теплоёмкости от температуры. Классический и квантовый подходы.
- 2.6. **Распределение Максвелла.** Пространство скоростей. Сферическая симметрия. Плотность распределения частиц. Условие нормировки. Плотность распределения по модулям скоростей. Вывод плотностей распределения. Связь с энергией поступательного движения. Наиболее вероятная, средняя и среднеквадратичная скорости. Примеры. Опыт Штерна.
- 2.7. **Распределение Больцмана.** Формула для концентрации в поле сил тяжести. Общий случай. Статистика Максвелла—Больцмана. Опыт Перрена (измерение массы молекулы).
- 2.8. **Статистический вес.** Макросостояние и микросостояние. Термодинамическая вероятность. Эргодическая гипотеза. Флуктуации. Относительная флуктуация. Пример. Связь с равновесностью состояния.
- 2.9. **Энтропия.** Второе начало термодинамики. Статистический вес в пространстве координат и скоростей. Формула Стирлинга. Энтропия идеального газа. Связь с количеством тепла в случае идеального газа и общем случае. Упорядоченное и беспорядочное состояния. Энтропия как мера беспорядка в системе. Основное состояние. Теорема Нернста (третье начало термодинамики).

## 3. Элементы термодинамики.

- 3.1. **Основные законы термодинамики.** Первое и второе начало термодинамики. Двигатель и цикл. Вечный двигатель. Газ как рабочее вещество.

Тепловая машина. Коэффициент полезного действия. Свойства. Холодильная машина. Формулировка Клаузиуса второго начала.

- 3.2. **Цикл Карно.** Нагреватель и холодильник. Условие обратимости цикла. Цикл Карно. К. п. д. цикла Карно. Теорема Карно. Случай необратимой тепловой машины. Другой способ вычисления к. п. д. цикла Карно.
- 3.3. **Термодинамическая шкала температур.** Независимость от выбора термометрического тела. Система двух тепловых машин. Функция температуры. Термодинамическая шкала.
- 3.4. **Примеры на вычисление энтропии.** Свойства теплоёмкости. Энтропия идеального газа. Зависимость от разных параметров. Энтропия воды. Изменение энтропии при плавлении. Удельная теплота и температура плавления. Случай кристаллизации (затвердевания). Испарение и конденсация. Удельная теплота парообразования и температура кипения.
- 3.5. **Некоторые применения энтропии.** Зависимость от объёма и температуры. Связь с внутренней энергией. Случай идеального и ван-дер-ваальсовского газа.
- 3.6. **Термодинамические потенциалы.** Свойства термодинамических потенциалов. Внутренняя энергия. Свободная энергия (энергия Гельмгольца). Связанная энергия. Верхний предел работы при изотермическом процессе. Условие равновесности при постоянных объёме и температуре. Энтальпия (тепловая функция). Связь с теплоёмкостью. Термодинамический потенциал Гиббса. Условие равновесности при постоянных давлении и температуре.

#### 4. Кристаллическое состояние.

- 4.1. **Отличительные черты кристаллического состояния.** Анизотропия. Примеры. Огранка. Плоскости спайности. Монокристаллы и поликристаллы. Кристаллическая решётка. Трансляционная симметрия. Элементарная кристаллическая ячейка. Примитивная ячейка.
- 4.2. **Классификация кристаллов.** Виды симметрии. Оси симметрии. Теоремы об осях симметрии. Плоскости симметрии. Комбинации элементов симметрии. Кристаллографические системы (сингонии).
- 4.3. **Физические типы кристаллических решёток.** Ионные кристаллы. Гетерополярная связь. Атомные кристаллы. Ковалентная связь. Валентность. Металлические кристаллы. Электронный газ. Молекулярные кристаллы. Ван-дер-ваальсовские силы.
- 4.4. **Дефекты в кристаллах.** Точечные дефекты. Дислокации. Перемещение дислокаций.
- 4.5. **Теплоёмкость кристаллов.** Классический подход. Химически простые вещества. Закон Дюлонга—Пти. Закон Неймана—Коппа. Замечания о низких температурах.

#### 5. Жидкое состояние.

- 5.1. **Строение жидкостей.** Дальний и ближний порядки. Связь с анизотропией. Аморфные тела.
- 5.2. **Поверхностное натяжение.** Радиус молекулярного действия. Энергия приповерхностного слоя жидкости. Связь с формой капель жидкости. Силы поверхностного натяжения. Коэффициент поверхностного натяжения. Связь со свободной энергией. Свойства.

- 5.3. *Давление под изогнутой поверхностью жидкости.* Избыточное давление. Средняя кривизна поверхности. Формула Лапласа. Следствие.
- 5.4. *Явления на границе жидкости и твёрдого тела.* Суммарная поверхностная энергия. Условие равновесия. Краевой угол. Смачивание и несмачивание.
- 5.5. *Капиллярные явления.* Капилляр. Мениск. Капиллярное давление. Два вывода разности высот в сообщающемся сосуде с капилляром.
6. **Фазовые равновесия и превращения.**
- 6.1. *Испарение и конденсация.* Понятие фазы. Равновесие фаз. Фазы на диаграмме состояния. Фазовые переходы. Испарение и сублимация. Равновесие жидкость-пар. Насыщенный пар.
- 6.2. *Равновесие жидкости и насыщенного пара.* Изотермическое сжатие вещества. Двухфазное состояние. Удельный объём. Соотношение масс фаз.
- 6.3. *Критическое состояние.* Критическая температура. Другие критические параметры. Свойства. Разделение газ-пар.
- 6.4. *Пересыщенный пар и перегретая жидкость.* Изотерма ван-дер-ваальсовского газа. Метастабильные состояния. Растянутая жидкость. Случай конденсации. Центры конденсации. Пример с камерой Вильсона.
- 6.5. *Плавление и кристаллизация.* Отличие кристаллов от аморфных тел. Кривая плавления. Центры кристаллизации.
- 6.6. *Уравнение Клапейрона—Клаузиуса.* Цикл Карно для двухфазной системы. Уравнение Клапейрона—Клаузиуса. Примеры.
- 6.7. *Тройная точка. Диаграмма состояния.* Изохорическое охлаждение равновесной системы жидкость-пар. Тройная точка. Трёхфазное состояние. Примеры. Связь наличия жидкой фазы с давлением в тройной точке. Возможные фазовые переходы.
- 6.8. *Фазовые равновесия.* Химический потенциал, его связь с энергией Гиббса и другими термодинамическими потенциалами. Параметры термодинамической системы и условия равновесия. Правило фаз Гиббса. Примеры.
7. **Элементы физической кинетики.**
- 7.1. *Явления переноса.* Обзор. Диффузия. Относительная концентрация. Коэффициент диффузии. Закон Фика. Теплопроводность. Коэффициент теплопроводности. Закон Фурье. Внутреннее трение. Коэффициент трения.
- 7.2. *Средняя длина свободного пробега.* Взаимная потенциальная энергия молекул. Эффективный диаметр молекул. Эффективное сечение. Следствие. Средняя длина свободного пробега. Частота столкновений. Случай замороженных частиц. Случай движущихся частиц. Свойства и примеры.
- 7.3. *Диффузия в газах.* Примитивный вывод закона Фика для схожих частиц (самодиффузия). Свойства коэффициента диффузии. Случай неодинаковых молекул.
- 7.4. *Теплопроводность газов.* Примитивный вывод закона Фурье. Свойства коэффициента теплопроводности.
- 7.5. *Вязкость газов.* Примитивный вывод закона внутреннего трения. Свойства коэффициента вязкости.

- 7.6. *Ультразреженные газы.* Понятие вакуума. Пример и следствие определения. Трение между двумя пластинами в вакууме. Теплообмен между двумя пластинами в вакууме.
- 7.7. *Эффузия.* Эффузионное истечение. Баланс в случае эффузии. Встречная изотермическая эффузия двух газов. Пример разделения химически неразделимой смеси газов.

#### **Основная литература.**

1. И. Е. Иродов. Задачи по общей физике. Издательство: Бином. Лаборатория знаний, 2012. 432 с.
2. И. Е. Иродов. Физика макросистем. Основные законы. Издательство: Бином. Лаборатория знаний, 2009. 208 с.
3. И. В. Савельев. Курс общей физики. Том 1. Механика. Молекулярная физика. Издательство: Лань, 2007. 432 с.

#### **Дополнительная литература.**

1. Ф. Рейф. Берклевский курс физики. Том 5. Статистическая физика. Издательство: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1986. 336 с.
2. Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Издательство Новосибирского Университета, Сибирское университетское издательство, 2001. 608 с.
3. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика. Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 544 с.
4. Э. Ферми. Термодинамика. Издательство «Институт компьютерных исследований», 2003. 164 с.
5. А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. Задачник по физике. Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 640 с.
6. Элементарный учебник физики. Том 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика. Под ред. Г. С. Ландсберга. Т. 1. Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 612 с.