

Лектор ФРИШ М.С.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА, 1 курс, второй семестр.  
(темы лекций)

Молекулярная физика – введение. Равновесное состояние и хаос. Параметры системы на примере идеального газа Давление идеального газа – основное уравнение кинетической теории газов. Температура и температурные шкалы. Эмпирическое уравнение состояния идеального газа, связь температуры и внутренней энергии.

Броуновское движение: формула Эйнштейна – Смолуховского. Средний квадрат смещения броуновской частицы: численное значение числа Авогадро и постоянной Больцмана.

Число часов: приблизительно 2-2,5 лекции.

2. Распределение частиц по скоростям (распределение Максвелла).

“Элементы” теории вероятности: вероятность и плотность вероятности случайного события. Пространство скоростей и элементы объема в этом пространстве. Вывод распределения Максвелла

на основе теории вероятности, константы распределения, характерные скорости, свойства распределения. Пучок, распределение скоростей в пучке. Принцип детального равновесия и распределение Максвелла Экспериментальное изучение распределения частиц по скоростям.

Барометрическая формула и атмосфера Земли. Распределение Больцмана и распределение Максвелла – Больцмана.

Длина свободного пробега молекулы и ее эффективное сечение (геометрическое и вероятностное толкование). Распределение по длинам свободного пробега молекул в пучке

Число часов: приблизительно 4 лекции.

3. Первое начало термодинамики.

Состояние равновесия. Понятие функции состояния. Модель идеального газа. Внутренняя энергия газа и независимость ее от объема. Квазистатические процессы. Молярные теплоемкости, элементарная и полная работа в квазистатическом процессе. Первое начало термодинамики. Термодинамическое определение внутренней энергии

Равномерное распределение энергии по степеням свободы (теорема Больцмана). Значение теплоемкостей  $C_v$  и  $C_p$  для различных идеальных газов Экспериментальная зависимость  $C_v$  идеального газа от температуры. Колебательные и вращательные уровни энергии двухатомной молекулы. Обсуждение формулы Планка Характеристические температуры для колебательных и вращательных уровней энергии различных молекул.

Изменение объема газа. Политропические процессы: изотермический, изохорический, изобарический, адиабатический; уравнение политропы.

Число часов: приблизительно 3 лекции.

4. Второе начало термодинамики.

Обратимые и необратимые процессы, круговой процесс. Формулировка Томсона для второго начала термодинамики, формулировка Клаузиуса и эквивалентность этих формулировок. Обратимый цикл Карно и его  $K.P.D.(\eta)$ . Необратимый цикл Карно и его  $\eta$ . Холодильная машина и ее  $\eta$ . Теоремы Карно. Термодинамическая шкала температур.

Приведенное количество тепла. Равенство Клаузиуса и термодинамическое определение энтропии и ее свойства. Энтропия идеального газа. Цикл Карно в  $T-S$  координатах.

Неравенство Клаузиуса; обратимые и необратимые процессы. Закон возрастания энтропии в адиабатически изолированной системе. Возрастание энтропии при расширении газа в пустоту и при неравновесном теплообмене.

Энтропия и локальное термодинамическое равновесие. Теорема Нернста. Свойства вещества при низких температурах.

Энтропия и статистика. Микро и макро состояния системы. Энтропия и термодинамическая вероятность (формула Больцмана). Статистический смысл второго начала термодинамики. Статистический вывод второго начала термодинамики на примере идеального газа.

Флуктуации в системе с большим числом частиц; флуктуации плотности в идеальном газе.

Число часов: примерно 6 лекций.

5. Термодинамические функции. Экстенсивные и интенсивные термодинамические переменные. Функции состояния системы: внутренняя энергия, свободная энергия, энтальпия и термодинамический потенциал Гиббса, и их естественные переменные. Химический потенциал. Условие перехода системы в состояние равновесия. Связь термодинамических потенциалов с уравнением состояния. Соотношение взаимности Максвелла.

Число часов: примерно 1,5 лекции.

6. Реальный газ. Взаимодействие молекул - парные столкновения. Модельные потенциалы взаимодействия молекул: упругие сферы, В.д.В., Леннард – Джонс. Зависимость диаметра молекулы от ее энергии. Вывод уравнения В.д.В. Термодинамический вывод внутренней энергии реального газа. Теоретические и экспериментальные изотермы реального газа. Метастабильные состояния. Система жидкость – пар. Критические величины. Уравнение В.д.В. в приведенных величинах.

Эффект Джоуля – Томсона и температура инверсии.

Число часов: примерно 1,5 лекции.

7. Жидкости. Общее описание, элементы теории Френкеля. Ближний порядок. Поверхностная свободная энергия и коэффициент поверхностного натяжения. Давление под искривленной поверхностью жидкости: формула Лапласа. Смачивание, краевые углы, капиллярные явления. Формула Журена. Зависимость давления насыщенного пара от кривизны поверхности.

Растворы. Осмотическое давление

Число часов: примерно 2,5 лекции.

8. Твердое тело. Элементы строения твердых тел, кристаллические решетки; понятие симметрии и анизотропии. Тепловое движение в кристаллах, закон Дюлонга и Пти. Теплоемкость твердого тела при низких температурах. Вывод формулы Планка – Эйнштейна.

Число часов: примерно 1,5 лекции.

9. Фазовые превращения. Фазы и фазовое равновесие. Химический потенциал двухфазной системы и уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Диаграммы состояний (простейшие случаи). Фазовые переходы первого и второго рода. Диаграмма состояния гелия.

Число часов: примерно 1,5 лекции.

10. Явления переноса. Макроскопические явления переноса: Диффузия, внутреннее трение, теплопроводность. Микроскопическая теория явления переноса в газе (упрощенный вариант). Связь между коэффициентами переноса и их зависимость от температуры и плотности.

Число часов примерно 1,5 лекции.

11. Ультра разреженные газы.

Число часов – 1 лекция.

#### ЛИТЕРАТУРА.

- 1 Сивухин Д.В. Общий курс физики т.2. Термодинамика и молекулярная физика.
2. Фриш С.Э. Тиморева А.В. Курс общей физики т.1.
3. Молекулярная физика жидкостей в курсе общей физики (Соловьев В.А.) 1983 г.

#### Дополнительная литература.

- 4 Кикоин И.К. Кикоин А.К. Молекулярная физика. М. 1976.
- 5 Матвеев А.Н. Молекулярная физика.
- 6 Ландау Л.Д. Ахиезер А.И. Лившиц Е.М. Курс общей физики. (Механика и молекулярная физика).
- 7 Конспект лекций по физике для студентов ЛГУ. (Толстой Н.А.) 1966.
8. Методические указания по общему курсу физики (некоторые вопросы термодинамики) (Спартак А.А. Толстой Н.А.) Л.1990.
9. Соловьев В.А. Аджимян Л.Ц. Фриш М.С. Избранные вопросы молекулярной физики. С.П.б. 2000.
10. Яковлева В.И. Фриш М.С, Добровольская М.А. Явление переноса, С.П.б. 2003.