

Программа курса лекций по молекулярной физике

Лектор: профессор, доктор физико-математических наук Дзюба Сергей Андреевич

Введение. Краткая историческая справка. Основные представления об атомах и молекулах. Используемые единицы измерений, значения физических констант. Агрегатные состояния вещества. Некоторые современные проблемы.

Часть I. Идеальный газ

1. Идеальный газ и функции распределения по скоростям. Понятие идеального газа и функций распределения. Температура и кинетическая энергия. Распределение по скоростям движения (распределение Максвелла). Средняя, среднеквадратичная и наиболее вероятная скорости молекул.

2. Молекулярные пучки, давление и уравнение состояния. Молекулярные пучки (потoki). Давление идеального газа. Уравнение состояния идеального газа.

3. Распределение Больцмана. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Опыты Перрена по определению константы Авогадро. Центрифугирование, разделение изотопов. Электростатическая поляризация газов.

4. Распределение Максвелла-Больцмана, закон равнораспределения по степеням свободы. Вывод распределения Максвелла из распределения Больцмана. Распределение Максвелла – Больцмана. Нахождение средней энергии с помощью статсумм. Многоатомные молекулы – степени свободы, движение центра масс. Закон равнораспределения энергии: метод статсумм. Закон равнораспределения энергии из классической механики. Теплоемкость, вымораживание степеней свободы.

5. Столкновения молекул. Столкновения молекул в газе, относительное движение. Частота столкновений, длина свободного пробега молекул, эффективное сечение. Распределение по длинам пробега. Химические превращения и химическая кинетика.

Часть II. Диффузия, теплопроводность, вязкость

6. Явления переноса. Принцип локального равновесия в газе. Диффузия в газе. Теплопроводность газа. Вязкость газа. Процессы переноса в ультраразреженном газе. Эффузия, эффект Кнудсена. Процессы переноса в жидкостях и в твердых телах.

7. Вязкая жидкость. Течение ньютоновской жидкости. Формула Пуазейля. Формула Стокса. Турбулентное течение.

8. Броуновское движение и диффузия. Подвижность частиц, связь между коэффициентами подвижности и диффузии. Броуновское движение. Уравнение Ланжевена. Формула Эйнштейна-Смолуховского. Распределение по величинам перемещений. Нестационарная диффузия, уравнение диффузии.

Часть III. Термодинамика

9. Первое начало термодинамики. Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений, Термодинамическое равновесие. Уравнение состояния, термодинамические коэффициенты. Равновесные, обратимые и необратимые процессы.

Внутренняя энергия, работа, количество теплоты. Первое начало термодинамики. Теплоёмкость процесса. Скорость звука в газе.

10. Преобразование теплоты в работу. Циклические процессы, КПД циклов. Цикл Карно. Холодильная машина, тепловые насосы. Цикл Отто как модель для двигателя внутреннего сгорания.

11. Второе начало термодинамики, энтропия. Формулировки второго начала. Теорема Карно. Термодинамическая температура. Теорема о приведённых теплотах, неравенство Клаузиуса. Энтропия. Закон возрастания энтропии. Энтропия идеального газа. Процесс Гей-Люссака, смешение газов, парадокс Гиббса. Контакт тел с разными температурами.

12. Статистический смысл энтропии. Изменение энтропии при отклонении от равновесия. Принцип Больцмана. Распределение Больцмана как наиболее вероятное распределение в потенциальном поле.

13. Термодинамические потенциалы, метод циклов. Термодинамические потенциалы. Условия термодинамической устойчивости, исчезновение возможной полезной работы. Соотношения Максвелла. Зависимость внутренней энергии от объема. Термодинамическая температура из соотношений Максвелла. Метод циклов.

14. Приложение: термодинамика фотонного газа. Черное излучение, фотонный газ. Теорема Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана.

Часть IV. Реальные газы, фазовые переходы, жидкости, гетерогенные системы

15. Реальные газы. Межмолекулярные взаимодействия. Газ Ван-дер-Ваальса. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Сжижение газов, процесс Джоуля–Томсона.

16. Фазовые и химические равновесия. Фазовые превращения, переходы первого и второго рода. Химический потенциал. Условие фазового и химического равновесия. Уравнение Клапейрона–Клаузиуса. Равновесие между паром и конденсированной фазой. Испарение и кипение. Равновесие трех фаз. Метастабильные состояния, камера Вильсона и пузырьковая камера. Химический потенциал идеального газа. Химическое равновесие в идеальных газах, закон действующих масс.

17. Растворы. Растворы, идеальные растворы. Растворы газов в жидкостях, закон Генри. Закон Рауля. Химический потенциал идеального раствора. Кипение и замерзание растворов. Осмос и осмотическое давление. Значение осмоса для живых организмов.

18. Поверхностные явления. Поверхностное натяжение. Краевой угол. Капиллярные силы. Формула Лапласа. Давление пара над искривленной поверхностью, капиллярная конденсация. Адсорбция.

19. Гетерогенные системы в физике, технике, химии, биологии. Взвеси и коллоидные растворы. Межмолекулярные взаимодействия в конденсированной фазе. Биологические системы: гидрофобный эффект и самоорганизация биомолекул в водном окружении.