

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	10
-----------------------	----

### РАЗДЕЛ 1. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

<i>ЛЕКЦИЯ 1</i> . . . . .	13
---------------------------	----

Термодинамические системы (13). Размеры атомов и молекул (14). Взаимодействие атомов и молекул (16). Ковалентная связь (17). Ионная связь (18). Водородная связь (19). Металлическая связь (20). Ван-дер-ваальсовы силы (21). Потенциал Леннарда-Джонса (21). Классическая модель молекулы (22). Масса атомов и молекул (23). Количество вещества (23).

<i>ЛЕКЦИЯ 2</i> . . . . .	24
---------------------------	----

Температура (24). Термометры и температурные шкалы (25). Температурная шкала Ремера (25). Шкала Фаренгейта (25). Температурная шкала Реомюра (26). Температурная шкала Цельсия (26). Шкала Кельвина (27). Абсолютная термодинамическая шкала (27). Методы описания термодинамических систем (27). Динамические методы (28). Термодинамический метод (30). Статистический метод (31). Идеальный газ (32).

### РАЗДЕЛ 2. СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ

<i>ЛЕКЦИЯ 3</i> . . . . .	33
---------------------------	----

Статистические закономерности (33). Вероятность (34). Простейшие математические операции с вероятностями (36). Среднее значение случайной величины (38). Дисперсия (39). Центральная предельная теорема (40). Микро- и макросостояния (41). Постулат равновероятности (42). Макросостояние (43). Эргодическая гипотеза (44).

<i>ЛЕКЦИЯ 4</i> . . . . .	45
---------------------------	----

Статистика Больцмана (45). Пространственное распределение молекул (45). Биномиальное распределение (47). Термодинамическая вероятность для изолированной системы частиц идеального газа (52). Температура и ее статистический смысл (53). Распределение Гиббса (54). Подсистема в термостате (57).

### РАЗДЕЛ 3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО СКОРОСТЯМ И ЭНЕРГИЯМ. КВАНТОВЫЕ ГАЗЫ

<i>ЛЕКЦИЯ 5</i> . . . . .	58
Микроканоническая и каноническая системы (58). Вырождение газа (58). Намагничивание парамагнетика (59). Распределение Максвелла по скоростям (60). Распределение по энергиям (63). Частота ударов молекул о стенку (63). Экспериментальная проверка распределения Максвелла (64). Распределение молекул газа в поле силы тяжести (65). Принцип детального равновесия (66).	
<i>ЛЕКЦИЯ 6</i> . . . . .	68
Распределение Максвелла–Больцмана (68). Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы (70). Опыты Перрена по определению числа Авогадро (72). Атмосфера планет (74).	
<i>ЛЕКЦИЯ 7</i> . . . . .	75
Броуновское движение (Б. Д.) (75). Давление идеального газа (79). Закон Авогадро (79). Закон Дальтона (80). Уравнение Клапейрона–Менделеева (80). Энтропия и вероятность (81). Энтропия системы парамагнитных атомов (82).	
<i>ЛЕКЦИЯ 8</i> . . . . .	83
Квантовые газы (83). Распределение Ферми–Дирака (83). Распределение Бозе–Эйнштейна (88). Формула Планка (89). Давление фотонного газа (90). Бозе–эйнштейновский конденсат (БЭК) (90).	

### РАЗДЕЛ 4. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ. НУЛЕВОЕ И ПЕРВОЕ НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ. ТЕПЛОЕМКОСТЬ

<i>ЛЕКЦИЯ 9</i> . . . . .	95
Нулевое начало термодинамики (95). Первое начало термодинамики (95). Уравнение состояния, внутренняя энергия и работа (98). Термодинамическая аддитивность (99). Теплоемкость процесса (99). Теплоемкость идеального газа. Формула Майера (100). Теплоемкость твердых тел (102). Тепловые фононы (107). Теплоемкость жидкостей (108).	
<i>ЛЕКЦИЯ 10</i> . . . . .	110
Процессы в идеальных газах (110). Циклические процессы (113). Цикл Карно (114). Двигатель Стирлинга (116).	
<i>ЛЕКЦИЯ 11</i> . . . . .	118
Паровая турбина (118). Холодильная установка и тепловой насос (119). Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) (122). Тепловой баланс Земли (ТБЗ) (124).	

## РАЗДЕЛ 5. ВТОРОЕ И ТРЕТЬЕ НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

<i>ЛЕКЦИЯ 12</i> .....	127
Второе начало термодинамики (127). Формулировка Кельвина (127). Формулировка Клаузиуса (128). Эквивалентность обеих формулировок (128). Термодинамическое определение энтропии (129). Первая теорема Карно (130). Термодинамическая шкала температур (130). Энтропия и термодинамическая вероятность (131). Вторая теорема Карно (133). Неравенство Клаузиуса (133). Второе начало термодинамики и энтропия (134). Цикл Карно в переменных $S$ и $T$ (136).	
<i>ЛЕКЦИЯ 13</i> .....	137
Термодинамические функции (137). Максимальная работа и свободная энергия (140). Химический потенциал (141). Критерии устойчивости термодинамических систем (142). Полезные термодинамические соотношения (143). Формулы для теплоемкостей (144). Методы охлаждения газов (145).	
<i>ЛЕКЦИЯ 14</i> .....	148
Третье начало термодинамики (148). Магнитное адиабатическое охлаждение (149). Флуктуации (150). Термодинамические функции и статистическая сумма (153). Эволюционно-синергетическая парадигма (153). Тепловая смерть Вселенной (155). Самоорганизация (156). Порядок и хаос (159). Бифуркации (163).	
<b>РАЗДЕЛ 6. РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ, ЖИДКОСТИ И ТВЕРДЫЕ ТЕЛА</b>	
<i>ЛЕКЦИЯ 15</i> .....	166
Изотермы реального газа (166). Правило рычага (168). Влажность воздуха (168). Уравнение Ван-дер-Ваальса (168). Изотермы газа Ван-дер-Ваальса (170). Внутренняя энергия газа ВдВ (172). Адиабатическое охлаждение газа ВдВ (172). Охлаждение при дросселировании газа ВдВ (173). Интегральный эффект Джоуля–Томсона (174). Физический смысл температуры инверсии (174). Закон соответственных состояний (175).	
<i>ЛЕКЦИЯ 16</i> .....	177
Другие уравнения состояния реального газа (177). Вириальное уравнение состояния простой жидкости (178). Сжижение газов (179). Сжижение природного газа (181). Критическое состояние вещества (181). Сверхкритический флюид (СКФ) (182). Поверхностное натяжение (184). Условия равновесия на границе двух жидкостей (186). Условие равновесия на границе жидкость–твердое тело (186). Избыточное давление (188). Капиллярные явления (188).	
<i>ЛЕКЦИЯ 17</i> .....	190
Твердые тела (190). Кристаллографические системы (192). Кристаллографические плоскости (195). Рентгеноструктурный анализ кристаллов (196). Нейтронография (198). Электронография (198). Дефекты кристаллических	

решеток (199). Полиморфизм (200). Фуллерен (203). Нанотрубки (204). Графен (205). Твердые материалы (206). Фрактал (207).

<i>ЛЕКЦИЯ 18</i> .....	211
Молекулярное движение в жидкостях (211). Молекулярное движение в твердых телах (212). Полимеры (212). Изгиб длинных молекул (216). Жидкие кристаллы (ЖК) (219).	

## РАЗДЕЛ 7. ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ

<i>ЛЕКЦИЯ 19</i> .....	223
Равновесие в двухфазной гетерогенной системе (223). Уравнение Клапейрона–Клаузиуса (224). Фазовый переход первого рода (224). Равновесие жидкости и пара (224). Давление насыщенного пара над искривленной поверхностью (226). Кипение жидкостей (227). Перегретая жидкость (228). Переохлажденный пар (229). Равновесие системы «твердое тело–жидкость» (229). Выращивание кристаллов (232). Равновесие системы «твердое тело–пар» (232).	
<i>ЛЕКЦИЯ 20</i> .....	234
Равновесие в гетерогенной системе (234). Правило фаз Гиббса (235). Металлический водород (235). Адсорбция. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) (236). Фазовые превращения гелия (238). Фазовые переходы второго рода (240). Переход в сверхпроводящее состояние (241). Равновесие в гомогенной системе (244).	
<i>ЛЕКЦИЯ 21</i> .....	246
Принцип Ле Шателье–Брауна (246). Жидкие растворы (247). Законы Рауля и Генри (248). Диаграммы состояний растворов (249). Кипение жидких растворов (250). Осмотическое давление (251). Диссоциация. Закон разведения Оствальда (253). Тепловое ионизационное равновесие. Уравнение Саха (253).	

## РАЗДЕЛ 8. ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА

<i>ЛЕКЦИЯ 22</i> .....	256
Диффузия (256). Теплопроводность (258). Вязкость (259). Электропроводность (259). Термодиффузия (259). Термоэлектричество (261). Нестационарная диффузия (261). Измерение коэффициента взаимной диффузии (263). Нестационарная теплопроводность (263). Измерение теплопроводности (265). Метод лазерной вспышки (267). Измерение коэффициента вязкости (268).	
<i>ЛЕКЦИЯ 23</i> .....	270
Свободная конвекция (270). Конвективная неустойчивость (271). Вынужденная конвекция (273). Конвективное движение в мантии Земли (273). Термодинамические силы и потоки (274). Поток энтропии (274). Энтропийный баланс Земли (275). Энтропия живых существ (276). Информационная энтропия (276). Динамика мировой системы (278).	

---

**РАЗДЕЛ 9. ПРОСТЕЙШАЯ КИНЕТИКА НЕРАВНОВЕСНЫХ СИСТЕМ**

<i>ЛЕКЦИЯ 24</i> .....	281
Физическая кинетика (281). Длина свободного пробега (281). Столкновение разных молекул (283). Столкновение в смеси газов (283). Вероятностный характер процесса столкновения (283). Столкновение частиц со стенкой сосуда (285). Перенос вещества (диффузия) (285). Перенос импульса (вязкость) (286). Перенос энергии (теплопроводность) (287). Разреженные газы (288). Молекулярная эффузия (289). Молекулярное течение (290).	
<i>ЛЕКЦИЯ 25</i> .....	293
Сосуд Дьюара (293). Получение вакуума (293). Явления переноса в жидкостях (297). Самодиффузия (297). Вязкость (298). Теплопроводность (299). Явления переноса в твердых телах (299). Теплопроводность в твердых телах (300). Кинетическое уравнение Больцмана (301). Физический вакуум (303).	
Предметный указатель .....	305