

Введение

в термодинамику сложных систем

Принципы и некоторые приложения, изложенные В.Н. Покровским

ПРЕДИСЛОВИЕ

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Фундаментальные принципы неравновесной термодинамики | 1 |
| 1.1. | Состав термодинамической системы | 1 |
| 1.1.1. | <i>Изменение энергии при изменении состава</i> | 3 |
| 1.1.2. | <i>Эмпирическое условие равновесия</i> | 4 |
| 1.1.3. | <i>Открытость и закрытость системы</i> | 5 |
| 1.1.4. | <i>Потоки веществ</i> | 6 |
| 1.2. | Температура и теплообмен | 6 |
| 1.2.1. | <i>Температура</i> | 6 |
| 1.2.2. | <i>Нулевой принцип термодинамики</i> | 8 |
| 1.2.3. | <i>Поток тепла</i> | 9 |
| 1.3. | Работа термодинамической системы | 9 |
| 1.3.1. | <i>Номенклатура переменных</i> | 9 |
| 1.3.2. | <i>Работа через определяющие переменные</i> | 11 |
| 1.3.3. | <i>Работа при деструктурировании системы</i> | 12 |
| 1.3.4. | <i>Второй принцип термодинамики</i> | 12 |
| 1.4. | Преобразование и сохранение энергии | 13 |
| 1.4.1. | <i>Первый принцип термодинамики</i> | 13 |
| 1.4.2. | <i>Различие между полной и внутренней энергией</i> | 15 |
| 1.5. | Характеристические функции | 16 |
| 1.5.1. | <i>Внутренняя энергия</i> | 17 |
| 1.5.2. | <i>Свободная энергия</i> | 20 |
| 1.5.3. | <i>Энтропия</i> | 21 |
| 1.5.4. | <i>Диссипация энергии</i> | 24 |
| 1.5.5. | <i>Особенности термодинамических функций</i> | 25 |
| 1.6. | Динамика внутренних переменных | 26 |
| 1.7. | Установившиеся неравновесные состояния | 29 |
| 1.7.1. | <i>Динамика внутренних переменных</i> | 29 |
| 1.7.2. | <i>Энтропия около стационарного состояния</i> | 30 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1.7.3. | Производство энтропии | 32 |
| 1.7.4. | Соотношение между потоками и термодинамическими силами | 34 |
| 1.7.5. | Симметрия кинетических коэффициентов | 35 |
| 1.7.6. | Простейшие примеры стационарных ситуаций вблизи равновесия | 36 |
| 1.8. | Литература | 41 |
| 2 | Идеальные газы | 43 |
| 2.1. | Молекулярный идеальный газ | 43 |
| 2.2. | Микроскопическая интерпретация идеальных газов | 45 |
| 2.2.1. | Фазовое пространство | 46 |
| 2.2.2. | Число микросостояний системы | 47 |
| 2.2.3. | Энтропия и термодинамические функции | 49 |
| 2.2.4. | Функция распределения | 51 |
| 2.2.5. | Кинетическое уравнение | 52 |
| 2.2.6. | Распределение в энергетическом пространстве | 53 |
| 2.3. | Энтропия и информация | 55 |
| 2.3.1. | Что же такое информация? | 55 |
| 2.3.2. | Сколько информации содержит система? | 56 |
| 2.3.3. | Простейший производственный цикл | 58 |
| 2.3.4. | Энтропия и информация не сопоставимы | 60 |
| 2.4. | Литература | 61 |
| 3 | Системы с реагирующими веществами | 63 |
| 3.1. | Кинетика химических превращений | 64 |
| 3.1.1. | Описание реагирующих смесей | 64 |
| 3.1.2. | Простейшие примеры реакций | 66 |
| 3.2. | Термодинамика химических превращений | 68 |
| 3.2.1. | Энтропия реагирующей смеси | 68 |
| 3.2.2. | Пример: Протекаемый реактор | 70 |
| 3.3. | Брюсселятор | 72 |
| 3.3.1. | Химические часы | 73 |
| 3.3.2. | Диссипативные структуры | 75 |
| 3.3.3. | Термодинамика брюсселятора | 79 |
| 3.4. | Проблемы описания биологических организмов | 82 |
| 3.5. | Литература | 84 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4 | Динамика сложных жидкостей | 87 |
| 4.1. | Интегральные и локальные законы течения | 87 |
| 4.2. | Локальные уравнения движения сплошных сред . . | 88 |
| 4.2.1. | <i>Уравнение непрерывности и закон сохранения импульса</i> | 89 |
| 4.2.2. | <i>Закон сохранения энергии и баланс энтропии</i> | 90 |
| 4.2.3. | <i>Термодинамические потоки и процессы релаксации</i> | 93 |
| 4.2.4. | <i>Принцип относительности для медленно-меняющихся движений</i> | 96 |
| 4.2.5. | <i>Модели сплошных сред</i> | 98 |
| 4.3. | Динамика полимерных жидкостей | 101 |
| 4.3.1. | Классификация полимерных жидкостей . . . | 101 |
| 4.3.2. | Определяющее соотношение для слабо перепутанных полимерных жидкостей | 103 |
| 4.4. | Интегральные законы движения как следствие локальных | 105 |
| 4.4.1. | <i>Протекание вязкой жидкости через трубу</i> . | 106 |
| 4.4.2. | <i>Протекание полимерной жидкости через трубу</i> | 108 |
| 4.5. | Литература | 108 |
| 5 | Динамика популяций | 113 |
| 5.1. | Динамика выделенной популяции | 114 |
| 5.1.1. | <i>Балансовое уравнение</i> | 114 |
| 5.1.2. | <i>Экспоненциальный рост</i> | 115 |
| 5.1.3. | <i>Ограниченный рост – логистическая кривая</i> | 115 |
| 5.1.4. | <i>Миграция</i> | 117 |
| 5.1.5. | <i>Волна в логистической популяции</i> | 120 |
| 5.1.6. | <i>Структура популяции</i> | 121 |
| 5.2. | Взаимодействующие популяции | 122 |
| 5.2.1. | <i>Модель конкурирующих популяций</i> | 123 |
| 5.2.2. | <i>Модель жертва-хищник</i> | 125 |
| 5.2.3. | <i>Динамика биогеоценоза</i> | 128 |
| 5.3. | Особенности развития популяции человека | 129 |
| 5.3.1. | <i>Эмпирические факты о популяции человека</i> . | 130 |
| 5.3.2. | <i>Сдерживаемый рост популяции человека</i> . . . | 132 |
| 5.3.3. | <i>О пределах применимости теории</i> | 142 |
| 5.4. | Эволюция биогеосферы | 144 |
| 5.4.1. | <i>Термодинамика биогеоценоза</i> | 144 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.4.2. | Принцип развития | 146 |
| 5.5. | Литература | 148 |
| 6 | Динамика общественного богатства | 151 |
| 6.1. | Общественное богатство | 151 |
| 6.1.1. | Понятие стоимости | 151 |
| 6.1.2. | Производство и балансовое соотношение . . . | 153 |
| 6.2. | Вопрос об источниках богатства | 155 |
| 6.2.1. | Трудовая теория стоимости | 155 |
| 6.2.2. | Производство стоимости в неоклассической теории | 156 |
| 6.2.3. | Энергетическая теория стоимости | 157 |
| 6.3. | Закон замещения и трудовая теория стоимости . . . | 158 |
| 6.3.1. | Роль производственного оборудования | 158 |
| 6.3.2. | Обобщение трудовой теории стоимости . . | 160 |
| 6.4. | Динамика производственных факторов | 163 |
| 6.5. | Закон производства стоимости | 165 |
| 6.5.1. | Технология и производство стоимости | 166 |
| 6.5.2. | Аппроксимация производственной функции . | 166 |
| 6.5.3. | Сравнение с эмпирикой | 167 |
| 6.6. | Инвестиции и изменение технологии | 170 |
| 6.6.1. | Инвестиции и три типа развития | 170 |
| 6.6.2. | Динамика технологических коэффициентов . | 172 |
| 6.6.3. | Динамика технологического индекса | 174 |
| 6.7. | Особенности развития производства | 175 |
| 6.7.1. | Принцип развития производства | 175 |
| 6.7.2. | Циклический характер развития производства | 177 |
| 6.7.3. | Научно-технический прогресс и производительность труда | 180 |
| 6.8. | Литература | 181 |
| 7 | Земные превращения солнечной энергии | 187 |
| 7.1. | Термодинамика Земли | 187 |
| 7.1.1. | Потоки энергии и энтропии | 187 |
| 7.1.2. | Иерархия подсистем | 190 |
| 7.2. | Механизмы поглощения солнечной энергии | 192 |
| 7.2.1. | Фотосинтез | 192 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7.2.2. | От солнечной радиации к потокам воздуха и воды | 194 |
| 7.2.3. | Солнечные батареи | 194 |
| 7.3. | Производственная деятельность человека | 195 |
| 7.3.1. | Термодинамика производственного процесса . | 195 |
| 7.3.2. | Производственные циклы | 197 |
| 7.3.3. | Работа в производственных процессах | 199 |
| 7.4. | Литература | 202 |
| 8 | Принципы социодинамики | 205 |
| 8.1. | Архитектура общественной организации | 205 |
| 8.1.1. | Функциональная структура | 206 |
| 8.1.2. | Переменные состояния индивидуума и социоконфигурация | 207 |
| 8.1.3. | Стратификация и сословия | 210 |
| 8.1.4. | Группы и организации | 211 |
| 8.1.5. | Пример: стратификация советского общества по Кордонскому | 212 |
| 8.2. | Динамика общественной структуры | 213 |
| 8.2.1. | Изменение функциональной структуры | 214 |
| 8.2.2. | О механизме изменения функциональной структуры | 215 |
| 8.2.3. | Кинетическое уравнение | 217 |
| 8.2.4. | Правила перехода индивидуума | 218 |
| 8.2.5. | Механизм принятия решения | 220 |
| 8.2.6. | Формирование коллективного мнения | 223 |
| 8.3. | Общественное производство | 225 |
| 8.3.1. | Экономические субъекты | 226 |
| 8.3.2. | Простейшая экономическая система | 227 |
| 8.3.3. | Проблема управления и согласования интересов | 229 |
| 8.3.4. | Денежная система | 231 |
| 8.4. | Литература | 231 |
| 9 | Стохастическая динамика внутренних переменных | 237 |
| 9.1. | Динамика броуновской частицы | 237 |
| 9.1.1. | Распределение по импульсам | 238 |
| 9.1.2. | Введение случайных сил | 238 |
| 9.1.3. | Уравнение Ланжевена | 239 |
| 9.1.4. | Среднее смещение броуновской частицы | 241 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 9.1.5. | Уравнение для функции распределения | 242 |
| 9.2. | Случайные процессы в экономической теории | 244 |
| 9.2.1. | Цена как случайная величина | 244 |
| 9.2.2. | Формализация поведения рыночных агентов . | 246 |
| 9.2.3. | Анализ линейной теории. Рынки ликвидности и неликвидности | 249 |
| 9.2.4. | Крахи как события индуцированные избеганием риска | 250 |
| 9.2.5. | Рынки неликвидности: спекулятивные пузыри и крах | 253 |
| 9.2.6. | Эффекты памяти | 254 |
| 9.2.7. | Рынок опционов | 256 |
| 9.3. | Литература | 256 |

10 Статистическая интерпретация термодинамических характеристик 259

| | | |
|---------|--|-----|
| 10.1. | Макроскопическое и микроскопическое описания термодинамической системы | 259 |
| 10.2. | Введение статистического ансамбля | 261 |
| 10.3. | Статистика изолированной системы | 264 |
| 10.3.1. | Функция распределения – микроканоническое распределение | 264 |
| 10.3.2. | Энтропия изолированной системы | 265 |
| 10.4. | Статистика закрытой системы | 266 |
| 10.4.1. | Каноническое распределение | 266 |
| 10.4.2. | Функция распределения и термодинамические величины | 269 |
| 10.5. | Эвристический принцип максимальности энтропии . | 270 |
| 10.5.1. | Традиционный функционал | 271 |
| 10.5.2. | Нетрадиционные функционалы | 275 |
| 10.6. | Литература | 276 |