

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	Изменение энергии при изменении состава	3
1.1.2	Эмпирическое условие равновесия	4
1.1.3	Открытость и закрытость системы	5
1.1.4	Потоки веществ	5
1.2	Температура и теплообмен	6
1.2.1	Температура	6
1.2.2	Нулевой принцип термодинамики	7
1.2.3	Поток тепла	8
1.3	Работа термодинамической системы	8
1.3.1	Номенклатура переменных	9
1.3.2	Работа через определяющие переменные	10
1.3.3	Работа при деструктурировании системы	11
1.3.4	Второй принцип термодинамики	11
1.4	Преобразование и сохранение энергии	12
1.4.1	Первый принцип термодинамики	13
1.4.2	Различие между полной и внутренней энергией	14
1.5	Характеристические функции	15
1.5.1	Внутренняя энергия	16
1.5.2	Свободная энергия	18
1.5.3	Химический потенциал	19
1.5.4	Энтропия	20
1.5.5	Диссипация энергии	23
1.5.6	Особенности термодинамических функций	23
1.6	Динамика внутренних переменных	24
1.6.1	Предпочтительные состояния	25
1.6.2	Эволюционное уравнение	26
1.7	Установившиеся неравновесные состояния	27

1.7.1	Динамика внутренних переменных	27
1.7.2	Энтропия около стационарного состояния	28
1.7.3	Производство энтропии	30
1.7.4	О критерии устойчивости стационарных состояний .	31
1.7.5	Соотношение между потоками и термодинамическими силами	32
1.7.6	Симметрия кинетических коэффициентов	33
1.7.7	Простейшие примеры стационарных ситуаций вблизи равновесия	33
1.8	Литература	38
2	Идеализированные ситуации	41
2.1	Термодинамика идеального газа	41
2.1.1	Термодинамические функции	42
2.1.2	Энтропия составной системы	43
2.2	Микроскопическая интерпретация идеальных газов	46
2.2.1	Фазовое пространство	46
2.2.2	Число микросостояний системы	47
2.2.3	Термодинамические функции	49
2.2.4	Энтропия и температура	50
2.3	Функции распределения	51
2.3.1	Равновесная функция распределения	52
2.3.2	Кинетическое уравнение	53
2.3.3	Распределение в энергетическом пространстве . . .	54
2.4	Энтропия и информация	56
2.4.1	Что же такое информация?	56
2.4.2	Содержит ли термодинамическая система информацию?	57
2.4.3	Простейший производственный цикл	59
2.4.4	Энтропия и информация не сопоставимы	61
2.5	Литература	62
3	Системы с реагирующими веществами	65
3.1	Кинетика химических превращений	66
3.1.1	Описание реагирующих смесей	66
3.1.2	Простейшие примеры реакций	68
3.2	Термодинамика химических превращений	70
3.2.1	Энтропия реагирующей смеси	70
3.2.2	Пример: Протекаемый реактор	72

3.3	Брюсселятор	74
3.3.1	<i>Химические часы</i>	75
3.3.2	<i>Диссипативные структуры</i>	77
3.3.3	<i>Термодинамика брюсселятора</i>	81
3.4	Проблемы описания биологических организмов	83
3.5	Литература	86
4	Динамика сложных жидкостей	89
4.1	Интегральные и локальные законы течения	89
4.2	Локальные уравнения движения сплошных сред	90
4.2.1	<i>Уравнение непрерывности и закон сохранения импульса</i>	91
4.2.2	<i>Закон сохранения энергии и баланс энтропии</i>	92
4.2.3	<i>Термодинамические потоки и процессы релаксации</i>	95
4.2.4	<i>Принцип относительности для медленно-меняющихся движений</i>	98
4.2.5	<i>Модели сплошных сред</i>	100
4.3	Динамика полимерных жидкостей	102
4.3.1	<i>Классификация полимерных жидкостей</i>	103
4.3.2	<i>О наборе внутренних переменных</i>	104
4.3.3	<i>Определяющее соотношение для слабо перепутанных систем</i>	105
4.4	Интегральные законы движения как следствие локальных	106
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	109
5	Динамика популяций	113
5.1	Динамика отдельной 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>	119
5.1.6	<i>Структура популяции</i>	121
5.2	Взаимодействующие популяции	122
5.2.1	<i>Модель конкурирующих популяций</i>	122
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	Эмпирические факты о популяции человека	130
5.3.2	Сдерживаемый рост популяции человека	133
5.3.3	О пределах применимости теории	142
5.4	Эволюция биосферы	144
5.4.1	Термодинамика биосферы	144
5.4.2	Принцип развития	145
5.5	Литература	147
6	Динамика общественного богатства	151
6.1	Общественное богатство	151
6.1.1	Понятие стоимости	152
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	159
6.4	Динамика производственных факторов	162
6.5	Закон производства стоимости	164
6.5.1	Технология и производство стоимости	165
6.5.2	Простейшее приближение	165
6.5.3	Аппроксимация производственной функции	166
6.5.4	Производительность труда	167
6.6	Экспоненциальный рост	168
6.7	Инвестиции и изменение технологии	170
6.7.1	Инвестиции и три типа развития	170
6.7.2	Динамика технологических коэффициентов	173
6.7.3	Динамика технологического индекса	175
6.8	Динамика производственной системы	175
6.9	Литература	178
7	Земные превращения солнечной энергии	183
7.1	Термодинамика Земли	183
7.1.1	Потоки энергии и энтропии	183
7.1.2	Иерархия подсистем	186

7.2	Механизмы поглощения солнечной энергии	188
7.2.1	Фотосинтез	188
7.2.2	От солнечной радиации к потокам воздуха и воды .	190
7.2.3	Солнечные батареи	190
7.3	Производственная деятельность человека	191
7.3.1	Термодинамика производственного процесса	191
7.3.2	Производственные циклы	193
7.3.3	Работа в производственных процессах	195
7.4	Литература	197
8	Принципы социодинамики	201
8.1	Архитектура общественной организации	202
8.1.1	Функциональная структура	202
8.1.2	Переменные состояния индивидуума и социоконфигурация	203
8.1.3	Стратификация и сословия	205
8.1.4	Группы и организации	207
8.1.5	Пример: стратификация советского общества по Кордонскому	208
8.2	Динамика общественной структуры	209
8.2.1	Изменение функциональной структуры	209
8.2.2	О механизме изменения функциональной структуры	211
8.2.3	Кинетическое уравнение	213
8.2.4	Правила перехода индивидуума	214
8.2.5	Механизм принятия решения	215
8.2.6	Формирование коллективного мнения	218
8.3	Общественное производство	220
8.3.1	Экономические субъекты	221
8.3.2	Простейшая экономическая система	222
8.3.3	Проблема управления и согласования интересов . .	223
8.3.4	Денежная система	225
8.4	Литература	226
9	Стохастическая динамика внутренних переменных	229
9.1	Динамика броуновской частицы	229
9.1.1	Распределение по импульсам	230
9.1.2	Введение случайных сил	231
9.1.3	Уравнение Ланжевена	232
9.1.4	Среднее смещение броуновской частицы	233
9.1.5	Уравнение для функции распределения	234

9.2	Динамика рыночных отношений	236
9.2.1	Элементарная сделка	237
9.2.2	Теория гарантированного дохода	238
9.3	Элементарная теория рынка	243
9.3.1	Фундаментальные соотношения теории рынка	243
9.3.2	Формализация поведения рыночных агентов	246
9.3.3	Эволюционные уравнения	248
9.3.4	Стационарное состояние рынка	249
9.3.5	Об устойчивости стационарного рынка	250
9.3.6	Спекулятивный рынок	252
9.3.7	Рынок без спекулянтов	253
9.4	Литература	253
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	Принцип максимальной энтропии	270
10.5.1	Традиционный функционал	271
10.5.2	Нетрадиционные функционалы	275
10.6	Литература	276
11	Послесловие. О математическом моделировании	279
11.1	Инстинкт упорядочения	280
11.1.1	Уровень бессознательного	280
11.1.2	Уровень сознательного	281
11.1.3	Утверждения, в которые мы верим	282
11.1.4	События	283
11.2	Принципы описания событий	284
11.2.1	Пространство и время	285
11.2.2	Принцип самосохранения	285
11.2.3	Примеры событий	286

11.3	Математическое моделирование	288
11.3.1	Инструментальные средства описания	288
11.3.2	Схема математического моделирования	289
11.3.3	Математическая модель	292
11.3.4	Система моделей физики	293
11.4	Наука как общественный институт	294
11.4.1	Социальная функция науки	294
11.4.2	О научном методе	296
11.4.3	Организация научных исследований	297
11.4.4	Профессия исследователя	298
11.5	Литература	301