

Введение

В. Н. Покровский

В

ТЕРМОДИНАМИКУ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Принципы

математического моделирования и некоторые приложения

- ◆ Основы неравновесной термодинамики
- ◆ Системы с реагирующими веществами
- ◆ Динамика сложных жидкостей
- ◆ Земные превращения солнечной энергии
- ◆ Динамика популяций
- ◆ Принципы социодинамики
- ◆ Стохастическая динамика
- ◆ Статистическая интерпретация термодинамики
- ◆ О математическом моделировании



URSS

В. Н. Покровский

**ВВЕДЕНИЕ
В ТЕРМОДИНАМИКУ
СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

**Принципы математического
моделирования
и некоторые приложения**

Издание стереотипное



URSS

МОСКВА

ББК 22.18 22.1п 22.317 32.817 87.0 87.1

Покровский Владимир Николаевич

Введение в термодинамику сложных систем: Принципы математического моделирования и некоторые приложения.

Изд. стереотип. М.: ЛЕНАНД, 2021. — 280 с.

В этой книге обсуждаются феноменологические основы описания очень сложных систем, примерами которых являются популяции биологических особей и, среди них, популяция человека с особыми подсистемами: народным хозяйством, денежной системой, наукой и т. д. Ко всем этим сложным системам могут быть применимы законы термодинамики; вопрос только в том, как их сформулировать. Мы исходим из того, что сложные системы существуют в термодинамически неравновесных состояниях, для описания которых необходимы феноменологические внутренние переменные, ответственные за динамику системы, и содержанием исследования конкретной системы является выяснение того, каков набор переменных, необходимых для описания.

Книга предназначена студентам, изучающим прикладную математику, но может оказаться полезной и студентам других специальностей, от физики до обществоведения. В какой-то мере и просто заинтересованные читатели могут использовать книгу для самообразования.

Формат 60×90/16. Печ. л. 17,5.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».

117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-9710-7984-2

© ЛЕНАНД, 2014, 2020



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

Оглавление

Предисловие	9
1 Основы неравновесной термодинамики	13
1.1 Понятие о термодинамической системе	14
1.1.1 Влияние состава на энергию системы	15
1.1.2 Эмпирическое условие равновесия	16
1.1.3 Открытость и закрытость системы	17
1.1.4 Потоки веществ	17
1.2 Температура и теплообмен	18
1.2.1 Температура	18
1.2.2 Нулевой принцип термодинамики	19
1.2.3 Поток тепла	20
1.3 Работа и энергия	20
1.3.1 Номенклатура переменных	21
1.3.2 Работа через определяющие переменные	23
1.3.3 Работа внутренних переменных	23
1.3.4 Второй принцип термодинамики	24
1.3.5 Закон преобразования и сохранения энергии	24
1.4 Характеристические функции	27
1.4.1 Внутренняя тепловая энергия	27
1.4.2 Энтропия	28
1.4.3 Две составляющие энтропии	29
1.4.4 Энтропия как функция внутренних переменных	31
1.4.5 Потенциальные функции	32
1.4.6 Химический потенциал	34
1.4.7 Особенности термодинамических функций	35
1.5 Динамика внутренних переменных	36
1.5.1 Предпочтительные значения внутренних переменных	37

4 Оглавление

1.5.2	Эволюционное уравнение	38
1.6	Установившиеся неравновесные состояния	39
1.6.1	Динамика внутренних переменных	40
1.6.2	Энтропия около стационарного состояния	41
1.6.3	Производство энтропии	42
1.6.4	О критерии устойчивости стационарных состояний	44
1.6.5	Соотношение между потоками и термодинамическими силами	44
1.6.6	Симметрия кинетических коэффициентов	45
1.6.7	Простейшие примеры стационарных ситуаций вблизи равновесия	46
	Литература	51
2	Структура и свойства идеального газа	54
2.1	Термодинамика идеального газа	54
2.1.1	Термодинамические функции	55
2.1.2	Энтропия составной системы	56
2.2	Микроскопическая интерпретация идеальных газов	59
2.2.1	Фазовое пространство	59
2.2.2	Число микросостояний системы	60
2.2.3	Термодинамическая вероятность	62
2.2.4	Энтропия и температура	63
2.3	Функции распределения	64
2.3.1	Равновесная функция распределения	65
2.3.2	Кинетическое уравнение	66
2.3.3	Распределение в энергетическом пространстве	68
2.4	Энтропия и информация	69
2.4.1	Что же такое информация?	69
2.4.2	Содержит ли термодинамическая система информацию?	71
2.4.3	Простейший производственный цикл	72
2.4.4	Энтропия и информация не сопоставимы	74
	Литература	75
3	Системы с реагирующими веществами	77
3.1	Кинетика химических превращений	78
3.1.1	Описание реагирующих смесей	78
3.1.2	Простейшие примеры реакций	80

3.2	Термодинамика химических превращений	82
3.2.1	Энтропия реагирующей смеси	83
3.2.2	Стационарные ситуации	84
3.3	Брюсселятор	87
3.3.1	Химические часы	87
3.3.2	Диссипативные структуры	90
3.3.3	О термодинамическом описании брюсселятора	94
3.4	Проблемы описания живых организмов	95
3.4.1	Энтропия биологического организма	96
3.4.2	Развитие и морфогенез	97
3.4.3	Существование и деятельность	99
	<i>Литература</i>	101
4	Динамика сложных жидкостей	103
4.1	Интегральные и локальные законы течения	103
4.2	Локальные уравнения движения сплошных сред	105
4.2.1	Уравнение непрерывности и закон сохранения импульса	105
4.2.2	Закон сохранения энергии и баланс энтропии	106
4.2.3	Термодинамические потоки и процессы релаксации	109
4.2.4	Принцип относительности для медленно-меняющихся движений	111
4.2.5	Модели сплошных сред	113
4.3	Динамика полимерных жидкостей	116
4.3.1	Классификация полимерных жидкостей	116
4.3.2	О наборе внутренних переменных	117
4.3.3	Определяющее соотношение для систем слабо перепутанных макромолекул	118
4.4	Интегральные законы движения как следствие локальных	120
4.4.1	Протекание вязкой жидкости через трубу	120
4.4.2	Протекание полимерной жидкости через трубу	122
	<i>Литература</i>	123
5	Земные превращения солнечной энергии	125
5.1	Термодинамика Земли	125

6 Оглавление

5.1.1	Потоки энергии и изменение энтропии	125
5.1.2	Иерархия подсистем	128
5.2	Механизмы поглощения солнечной энергии	130
5.2.1	Фотосинтез	130
5.2.2	От солнечной радиации к потокам воздуха и воды	132
5.2.3	Солнечные батареи	132
5.3	Производственная деятельность человека	133
5.3.1	Термодинамика производственного процесса . . .	133
5.3.2	Производственные циклы	136
5.3.3	Работа и закон производства стоимости	138
	Литература	140
6	Динамика популяций	143
6.1	Динамика отдельной популяции	144
6.1.1	Балансовое уравнение	144
6.1.2	Экспоненциальный рост	145
6.1.3	Ограниченный рост – логистическая кривая . . .	145
6.1.4	Миграция	147
6.1.5	Волна в логистической популяции	149
6.1.6	Структура популяции	151
6.2	Взаимодействующие популяции	152
6.2.1	Модель конкурирующих популяций	152
6.2.2	Модель жертва-хищник	154
6.2.3	Динамика биогеоценоза	157
6.3	Особенности развития популяции человека	158
6.3.1	Эмпирические факты о популяции человека . . .	159
6.3.2	Законы роста популяции человека	161
6.4	Эволюция биогеосферы	164
6.4.1	Термодинамика биогеоценоза	164
6.4.2	Принцип развития	165
	Литература	167
7	Принципы социодинамики	170
7.1	Архитектура общественной организации	171
7.1.1	Функциональная структура	171

7.1.2	Переменные состояния индивидуума и социоконфигурация	172
7.1.3	Страты, домены, классы и сословия	175
7.1.4	Группы и организации	176
7.1.5	Пример: советское общество перед перестройкой	177
7.2	Динамика общественной структуры	178
7.2.1	Механизм изменения системы ценностей	179
7.2.2	Механизм изменения функциональной структуры	181
7.2.3	Кинетическое уравнение	182
7.2.4	Правила перехода между состояниями	183
7.2.5	Механизм принятия решения	185
7.2.6	Формирование коллективного мнения	188
7.3	Стратификация по богатству	190
7.3.1	Что такое богатство?	190
7.3.2	Человек в системе производства-распределения	191
7.3.3	Распределение по доходу	195
	Литература	198
8	Стохастическая динамика	201
8.1	Динамика броуновской частицы	201
8.1.1	Распределение по импульсам	203
8.1.2	Введение случайных сил	203
8.1.3	Уравнение Ланжевена	204
8.1.4	Среднее смещение броуновской частицы	206
8.1.5	Уравнение для функции распределения	207
8.2	Динамика рыночных отношений	209
8.2.1	Элементарная сделка	209
8.2.2	Теория гарантированного выигрыша	211
8.3	Элементарная теория рынка	216
8.3.1	Фундаментальные соотношения теории рынка	216
8.3.2	Формализация поведения рыночных агентов	218
8.3.3	Эволюционные уравнения	220
8.3.4	Особенности динамики рынка	221
8.3.5	Исследование устойчивости рынка	224
	Литература	227
9	Статистическая интерпретация термодинамики	229
9.1	Два подхода к описанию термодинамической системы	229
9.2	Введение статистического ансамбля	232

8 Оглавление

9.3	Статистика изолированной системы	235
9.3.1	Микроканоническое распределение	235
9.3.2	Энтропия изолированной системы	236
9.4	Статистика закрытой системы	237
9.4.1	Каноническое распределение	237
9.4.2	Термодинамические характеристики	240
9.5	Принцип максимальности энтропии	241
9.5.1	Классический функционал	242
9.5.2	Нетрадиционные функционалы	245
9.6	Заключительные замечания	246
	Литература	247
10	Послесловие. О математическом моделировании	248
10.1	Императив упорядочения	249
10.1.1	Уровень бессознательного	250
10.1.2	Уровень сознательного	250
10.1.3	Утверждения, в которые мы верим	252
10.1.4	События	253
10.2	Принципы описания событий	254
10.2.1	Пространство и время	254
10.2.2	Принцип самосохранения	255
10.2.3	Примеры событий	256
10.3	Математическое моделирование	258
10.3.1	Инструментальные средства описания	258
10.3.2	Схема математического моделирования	259
10.3.3	Система моделей физики	263
10.4	Наука как общественный институт	265
10.4.1	Социальная функция науки	265
10.4.2	О научном методе	266
10.4.3	Организация научных исследований	267
10.4.4	Профессия исследователя	269
	Литература	271