

531.2
К78

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Кинетический взгляд на статистическую физику



Павел Л. Крапивский,
Сидней Реднер, Эли Бен-Наим

ЛУЧШИЕ ЗАРУБЕЖНЫЕ УЧЕБНИКИ

Научный мир



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ПО НАНОТЕХНОЛОГИЯМ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ
лучшие зарубежные учебники



Издание осуществлено при поддержке
Фонда инфраструктурных и образовательных программ

A Kinetic View of STATISTICAL PHYSICS

Pavel L. Krapivsky

(Boston University)

Sidney Redner

(Boston University)

Eli Ben-Naim

(Los Alamos National Laboratory)



Кинетический взгляд на СТАТИСТИЧЕСКУЮ ФИЗИКУ

Павел Л. Крапивский

(Бостонский университет)

Сидней Реднер

(Бостонский университет)

Эли Бен-Наим

(Лос-Аламосская национальная лаборатория)

перевод с английского
кандидат физ.-мат. наук

А.М. Поволоцкий

научный редактор русского издания

доктор физ.-мат. наук

В. Б. Приезжев



НАУЧНЫЙ МИР
2012

УДК 082.1; 531.3
ББК 94.3: 22.317
К 78

Серия: Фундаментальные основы нанотехнологий: лучшие зарубежные учебники

Главный редактор серии: академик А. Р. Хохлов

Ответственный редактор: канд. физ.-мат. наук А. В. Чертович

Редакционная коллегия:

Антипов Евгений Викторович, профессор химического факультета МГУ;

Гудилин Евгений Алексеевич, профессор факультета наук о материалах МГУ;

Клячко Наталья Львовна, профессор химического факультета МГУ;

Образцов Александр Николаевич, профессор физического факультета МГУ

Крапивский П., Реднер С., Бен-Наим Э.

К 78 Кинетический взгляд на статистическую физику / Пер. с англ. А. М. Поволоцкий; науч. ред. В. Б. Приезжев. — М.: Научный мир, 2012. — 616 с.: ил. — (Фундаментальные основы нанотехнологий: лучшие зарубежные учебники). ISBN 978-5-91522-296-9

В книге в доступной для студентов форме рассмотрены основные явления неравновесной статистической физики. Она посвящена развитию и применению теоретических методов, которые помогут студентам совершенствовать навыки решения задач.

Книга начинается с микроскопических процессов переноса: диффузии, явлений, определяемых столкновениями, и процессов с запретами. Далее представлена кинетика агрегации, фрагментации и адсорбции, где основное внимание уделено феноменологии и методам решений. Следующие главы посвящены кинетике спиновых систем в дискретной и непрерывной формулировках, роли беспорядка в неравновесных процессах и явлению гистерезиса, рассматриваемому с неравновесной точки зрения. В заключительных главах обсуждаются динамика популяций, химические реакции и кинетический взгляд на сложные сети. Книга содержит более 200 упражнений для проверки понимания предмета читателем.

Книга предназначена для широкого круга читателей: студентов, аспирантов и научных работников как физико-математических, так и смежных специальностей.

© P. L. Krapivsky, S. Redner and E. Ben-Naim
First published by Cambridge University Press 2010.
ISBN-13 978-0-521-85103-9 (Hardback)

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 правообладателя.

ISBN 978-5-91522-296-9

© Поволоцкий А. М., перевод на русский язык, 2012
© Научный мир, издание на русском языке, оформление, 2012

Оглавление

Предисловие	xi
Обозначения	xv
1 ВВОДНЫЕ ПРИМЕРЫ	1
1.1 Диффузия.....	2
1.2 Одновидовая аннигиляция/коалесценция.....	6
1.3 Двухвидовая аннигиляция.....	11
1.4 Ссылки.....	13
2 ДИФФУЗИЯ	15
2.1 Распределение вероятностей.....	15
2.2 Центральная предельная теорема.....	19
2.3 Блуждания с широкими распределениями.....	21
2.4 Применение к гравитации: распределение Хольцмарка	27
2.5 Свойства первого достижения.....	32
2.6 Вероятность выхода и время выхода.....	36
2.7 Теория скорости реакций.....	45
2.8 Подход Ланжевена	49
2.9 Применение к росту поверхностей.....	53
2.10 Ссылки.....	62
2.11 Задачи	62
3 СТОЛКНОВЕНИЯ	71
3.1 Кинетическая теория.....	71
3.2 Газ Лоренца.....	76
3.3 Газ Лоренца во внешнем поле.....	85
3.4 Волна столкновений.....	91
3.5 Молекулы Максвелла и очень твердые частицы	94
3.6 Неупругие газы	98
3.7 Баллистическая агломерация	109

3.8	Однополосное дорожное движение.....	112
3.9	Ссылки.....	117
3.10	Задачи	118
4	ЗАПРЕТЫ	125
4.1	Симметричный процесс с запретами.....	126
4.2	Асимметричный процесс с запретами.....	132
4.3	Гидродинамический подход.....	136
4.4	Микроскопический подход.....	143
4.5	Открытые системы.....	150
4.6	Ссылки.....	158
4.7	Задачи	159
5	АГРЕГАЦИЯ	163
5.1	Основное кинетическое уравнение.....	163
5.2	Методы точного решения.....	167
5.3	Гелеобразование.....	176
5.4	Скейлинг.....	186
5.5	Агрегация с источником.....	190
5.6	Рост с обменом.....	199
5.7	Ссылки.....	204
5.8	Задачи	205
6	ФРАГМЕНТАЦИЯ	210
6.1	Бинарная фрагментация.....	210
6.2	Планарная фрагментация	220
6.3	Обратимая полимеризация.....	226
6.4	Столкновительная фрагментация.....	233
6.5	Ссылки.....	237
6.6	Задачи	238
7	АДСОРБЦИЯ	243
7.1	Случайная последовательная адсорбция в одномерии.....	243
7.2	Структура фазового пространства.....	253
7.3	Адсорбция в высших размерностях.....	261
7.4	Обратимая адсорбция.....	270
7.5	Транслокация полимеров.....	277
7.6	Ссылки.....	282
7.7	Задачи	282

8	ДИНАМИКА СПИНОВ	285
8.1	Феноменология укрупнения.....	285
8.2	Модель голосования	288
8.3	Модель Изинга-Глаубера.....	300
8.4	Приближение среднего поля.....	303
8.5	Глауберова динамика в одномерии.....	306
8.6	Глауберова динамика в высших размерностях.....	317
8.7	Спин-обменная динамика.....	325
8.8	Динамика кластеров	332
8.9	Ссылки.....	336
8.10	Задачи	337
9	УКРУПНЕНИЕ	341
9.1	Модели.....	341
9.2	Свободная эволюция	345
9.3	Частные случаи неконсервативной динамики.....	349
9.4	Финальные состояния.....	360
9.5	Дефекты.....	362
9.6	Консервативная динамика.....	372
9.7	Экстремальная динамика.....	379
9.8	Зародышеобразование и рост	384
9.9	Ссылки.....	390
9.10	Задачи	392
10	БЕСПОРЯДОК	397
10.1	Неупорядоченная спиновая цепочка	398
10.2	Случайные блуждания в случайном потенциале.....	409
10.3	Случайные блуждания в поле случайных скоростей.....	418
10.4	Ссылки.....	423
10.5	Задачи	424
11	ГИСТЕРЕЗИС	427
11.1	Однородные ферромагнетики.....	427
11.2	Теория возмущений.....	432
11.3	Неупорядоченные ферромагнетики.....	441
11.4	Модель среднего поля.....	446
11.5	Гистерезис цепочки Изинга в случайном поле.....	452
11.6	Ссылки.....	457
11.7	Задачи	457

12 ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИЙ	461
12.1 Непрерывная формулировка.....	461
12.2 Дискретные реакции	473
12.3 Разложение по малым флуктуациям.....	483
12.4 Большие флуктуации.....	487
12.5 Ссылки.....	493
12.6 Задачи	494
13 ДИФFUЗИОННЫЕ РЕАКЦИИ	498
13.1 Роль пространственной размерности.....	498
13.2 Реакция с захватом.....	504
13.3 Двухвидовая аннигиляция.....	510
13.4 Одновидовые реакции в одном измерении.....	515
13.5 Реакции с пространственным градиентом.....	528
13.6 Ссылки.....	539
13.7 Задачи	540
14 СЛОЖНЫЕ СЕТИ	543
14.1 Нерешеточные сети.....	543
14.2 Эволюция случайных графов.....	546
14.3 Случайные рекурсивные деревья.....	556
14.4 Преференционное присоединение.....	562
14.5 Флуктуации в сетях.....	566
14.6 Ссылки.....	572
14.7 Задачи	573
Литература	579
Предметный указатель	592