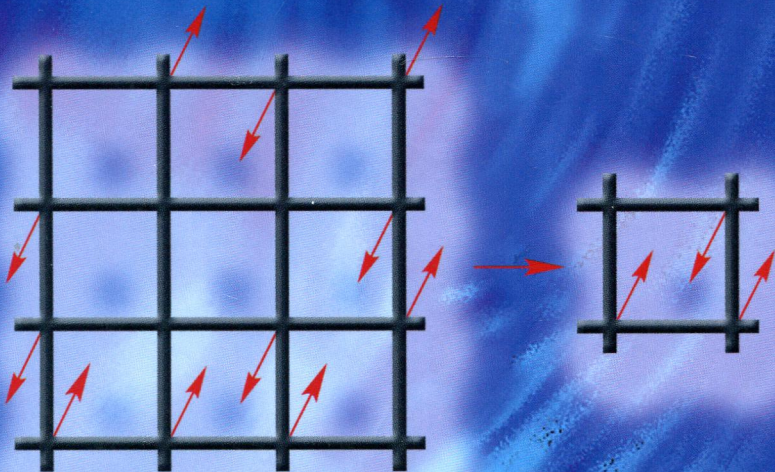


В. В. ПРУДНИКОВ
П. В. ПРУДНИКОВ
А. Н. ВАКИЛОВ

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ
НЕРАВНОВЕСНОГО КРИТИЧЕСКОГО
ПОВЕДЕНИЯ
СТРУКТУРНО НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ
СИСТЕМ**



В. В. ПРУДНИКОВ
П. В. ПРУДНИКОВ
А. Н. ВАКИЛОВ

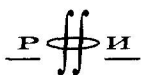
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПИСАНИЯ
НЕРАВНОВЕСНОГО КРИТИЧЕСКОГО
ПОВЕДЕНИЯ
СТРУКТУРНО НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ
СИСТЕМ**

$$H[s, V] = \int d^d x \left\{ \frac{1}{2!} \left[\kappa s^2(x) + (\nabla s(x))^2 + V(x)s^2(x) \right] + \frac{u}{4!} s^4(x) \right\}$$
$$\frac{\partial s(x, t)}{\partial t} = -\lambda \frac{\delta H[s]}{\delta s(x, t)} + \zeta(x, t)$$



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2013

УДК 536.9
ББК 22.317
П 85



*Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований по проекту 13-02-07012,
не подлежит продаже*

Прудников В.В., Прудников П.В., Вакилов А.Н. **Теоретические методы описания неравновесного критического поведения структурно неупорядоченных систем.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 316 с. — ISBN 978-5-9221-1556-8.

Монография посвящена изложению современных методов описания аномально сильных флуктуационных эффектов, сопровождающих процессы упорядочения в твердых телах при фазовых переходах второго рода. Представлена методика теоретико-полевого описания неравновесного критического поведения структурно неупорядоченных систем с фиксированной пространственной размерностью при последовательном применении к рядам теории методов суммирования асимптотических рядов. Впервые представлены результаты теоретического описания влияния дефектов структуры на характеристики распространения ультразвука в твердых телах вблизи температуры фазового перехода. Изложены методика и результаты численного исследования влияния дефектов и эффектов их корреляции как на равновесное, так и на неравновесное критическое поведение.

Для научных работников, занимающихся исследованиями в области фазовых переходов и критических явлений, физики конденсированного состояния, а также аспирантов и магистрантов физических специальностей высших учебных заведений.

© ФИЗМАТЛИТ, 2013

© В. В. Прудников, П. В. Прудников,
А. Н. Вакилов, 2013

ISBN 978-5-9221-1556-8

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
Глава 1. Фазовые переходы второго рода и критические явления	10
1.1. Теория Ландау–Гинзбурга–Вильсона	11
1.2. Критические индексы. Гипотеза подобия	13
1.3. Метод ренормгруппы и ϵ -разложения	15
1.4. Динамические критические явления	20
1.5. Влияние дефектов структуры на критическое поведение	26
1.6. Теоретико-полевой подход к описанию критического поведения	30
1.6.1. Теоретико-полевой вариант ренормгруппы (30). 1.6.2. Производящий функционал для функций Грина и вершинных функций (34). 1.6.3. Уравнение ренормгруппы. Асимптотическое поведение функций Грина (37).	
1.7. Суммирование асимптотических рядов.	40
1.7.1. Суммирование многопараметрических рядов (51).	
1.8. Компьютерное моделирование критического поведения спиновых систем	52
1.8.1. Моделирование методом Монте-Карло канонического ансамбля (52). 1.8.2. Алгоритм Метрополиса (53). 1.8.3. Кластерные методы моделирования (55). 1.8.4. Модификация метода Монте-Карло для неупорядоченных систем (56). 1.8.5. Динамическая интерпретация процесса моделирования (58).	
1.9. Метод реплик и нарушение репличной симметрии.	59
1.10. Распространение ультразвука вблизи критической температуры.	61
1.11. Выводы	64
Глава 2. Теоретико-полевое описание неравновесного критического поведения однородных и неупорядоченных систем с некоррелированными дефектами структуры	68
2.1. Динамическое критическое поведение однородных и неупорядоченных систем	69
2.2. Теоретико-полевое описание неравновесной критической релаксации однородной системы в трехпетлевом приближении.	81
2.2.1. Модель (82). 2.2.2. Ренормгрупповой анализ модели (84). 2.2.3. Анализ результатов (88).	
2.3. Теоретико-полевое описание неравновесной критической релаксации структурно неупорядоченных систем в коротковременном режиме	90
2.3.1. Ренормгрупповое описание неравновесного критического поведения структурно неупорядоченных систем (93).	

2.4. Выводы	102
Глава 3. Численные исследования критического поведения неупорядоченных систем с некоррелированными дефектами структуры	104
3.1. Компьютерное моделирование равновесного критического поведения трехмерной неупорядоченной модели Изинга	105
3.1.1. Метод конечномерного скейлинга (107). 3.1.2. Расчет критических характеристик (115). 3.1.3. Анализ результатов и выводы (120).	
3.2. Компьютерное моделирование критической динамики неупорядоченной трехмерной модели Изинга	120
3.2.1. Определение критического индекса α для однородной и неупорядоченной модели Изинга (120). 3.2.2. Обсуждение результатов моделирования (126).	
3.3. Компьютерное моделирование критической динамики неупорядоченной двумерной модели Изинга	127
3.3.1. Анализ результатов моделирования однородной и слабо неупорядоченной двумерной модели Изинга (134). 3.3.2. Анализ результатов моделирования сильно неупорядоченной двумерной модели Изинга (135). 3.3.3. Исследование влияния конечного размера системы на результаты моделирования неупорядоченной двумерной модели Изинга (136).	
3.4. Компьютерное моделирование неравновесного критического поведения неупорядоченной трехмерной модели Изинга с некоррелированными дефектами структуры	138
3.4.1. Исследование влияния начального неравновесного состояния с $m_0 \ll 1$ на характеристики неравновесного критического поведения модели (140). 3.4.2. Исследование влияния начального неравновесного состояния с $m_0 = 1$ на характеристики неравновесного критического поведения модели (148).	
3.5. Выводы	153
Глава 4. Компьютерное моделирование критического поведения неупорядоченной антиферромагнитной модели Изинга со случайными полями	155
4.1. Определение модели	155
4.2. Методика моделирования	158
4.3. Результаты моделирования и их анализ. Фазовые диаграммы	162
4.4. Исследование сильно неупорядоченной антиферромагнитной модели Изинга со случайными полями	165
4.5. Исследование низкотемпературного поведения неупорядоченного антиферромагнетика со случайными полями методом параллельных температур	172
Глава 5. Исследование влияния дальнедействующей корреляции дефектов на критическое поведение систем	180
5.1. Теоретико-полевое описание влияния эффектов дальнедействующей корреляции дефектов	183

5.1.1. Эффективный гамильтониан и процедура перенормировки (183).	
5.1.2. Фиксированные точки и различные типы критического поведения (186).	
5.1.3. Критическая динамика (191).	
5.1.4. Расчет критических индексов (192).	
5.1.5. Теоретическое исследование неравновесной критической динамики структурно неупорядоченных систем с дальнедействующей корреляцией дефектов (195).	
5.2. Исследование влияния дальнедействующей корреляции дефектов на критическое поведение систем методами компьютерного моделирования	203
5.2.1. Исследование неравновесной критической динамики модели Изинга с дальнедействующей корреляцией дефектов (205).	
5.2.2. Компьютерное моделирование равновесного критического поведения неупорядоченной модели Изинга с дальнедействующей корреляцией дефектов (213).	
5.2.3. Численное исследование неравновесной критической динамики ХУ-модели с линейными дефектами (215).	
5.2.4. Численное исследование неравновесной критической динамики модели Гейзенберга с линейными дефектами (219).	
5.3. Компьютерное моделирование критического поведения сильно неупорядоченных систем с дальнедействующей корреляцией дефектов	226
5.4. Выводы	231
Глава 6. Теоретико-полевое описание влияния дефектов структуры и эффектов их корреляции на характеристики распространения ультразвука в твердых телах вблизи температуры фазового перехода второго рода	233
6.1. Теоретическое описание влияния точечных дефектов структуры на характеристики распространения ультразвука в твердых телах	236
6.1.1. Расчет характеристик распространения ультразвука и скейлинговых функций с учетом влияния некоррелированных дефектов структуры (241).	
6.1.2. Анализ результатов и выводы (242).	
6.2. Исследование влияния дальнедействующей корреляции дефектов на характеристики распространения ультразвука в твердых телах	245
6.3. Выводы	255
Приложение А. Исследование критической динамики однородных систем в четырехпетлевом приближении	257
А.1. Производящий функционал. Динамические вершинные функции	258
А.2. Вычисление динамических скейлинговых функций	261
Приложение Б. Расчет динамических скейлинговых функций для систем с точечными дефектами	269
Приложение В. Расчет равновесных скейлинговых функций для систем с дальнедействующей корреляцией дефектов	281
Приложение Г. Расчет динамических скейлинговых функций для систем с дальнедействующей корреляцией дефектов	289
Список литературы	292