

**А. А. Снарский
И. В. Безсуднов
В. А. Севрюков**

**ПРОЦЕССЫ
ПЕРЕНОСА
В МАКРОСКОПИЧЕСКИ
НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ
СРЕДАХ**

**ОТ ТЕОРИИ СРЕДНЕГО ПОЛЯ
ДО ПЕРКОЛЯЦИИ**

МОСКВА



URSS

**Снарский Андрей Александрович,
Безсуднов Игорь Васильевич,
Севрюков Владимир Анатольевич**

Процессы переноса в макроскопически неупорядоченных средах: От теории среднего поля до перколяции. — М.: Издательство ЛКИ, 2007. — 304 с.

Настоящая книга посвящена современным проблемам физики неоднородных тел. Основная задача, решаемая в книге, — как, зная свойства распределения ингредиентов в композите, найти его эффективные параметры: эффективную проводимость, диэлектрическую и магнитную проницаемости и т. д. В книге исследуется дальнейшее развитие теории макроскопически неоднородных сред, охватывается широкий круг физических явлений в композитах. Это — гальваноэлектрические, термоэлектрические, упругие свойства макроскопически неупорядоченных сред, $1/f$ -шум и высшие токовые моменты, генерация гармоник в композитах вблизи и на самом пороге протекания и другое.

Единство подходов, изложенное в данной книге, связывает явления, удаленные друг от друга настолько, что кажется странным их появление в одном месте. Это, например, $1/f$ -шум в перколяционных средах вместе с пиннингом вихрей Абрикосова и локализацией Андерсона.

Используемый в книге подход — иерархическая модель — позволит читателю увидеть и своими руками на ограниченном числе листов бумаги получить, вместе с авторами, основные закономерности, числовые характеристики, функциональные зависимости.

Авторы изложили материал так, чтобы он был доступен подготовленному читателю, прослушивающему или уже прослушавшему курс физики университета.

Редактор — *М. К. Пунина*

Рецензент: д-р физ.-мат. наук *А. П. Виноградов*

Издательство ЛКИ. 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.

Формат 60 × 90/16. Печ. л. 19. Зак. № 1111.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, д. 11А, стр. 11.

ISBN 978–5–382–00191–3

© А. А. Снарский, И. В. Безсуднов,
В. А. Севрюков, 2007

© Издательство ЛКИ, 2007



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 владельцев.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	7
------------------	---

Часть I. МЕТОДЫ

Глава 1. Введение	10
1.1. Виды макроскопически неоднородных сред	10
1.2. Классификация физических свойств. Физические аналоги	13
Глава 2. Методы описания макроскопически неупорядоченных сред	15
2.1. Эффективные кинетические коэффициенты, или что мы измеряем	15
2.2. Корреляционная длина и самоусреднение	20
Глава 3. Эффективная проводимость макроскопически неупорядоченных сред	22
3.1. Двухсторонние оценки эффективных кинетических коэффициентов	22
3.2. Приближения Максвелла, Гарнетта, Бруггемана	26
3.3. Периодически расположенные включения	36
3.4. Плоскостойкие среды	43
Глава 4. Элементы геометрической теории протекания	50
4.1. Задача перколяции	50
4.2. Основные понятия геометрической теории перколяции	53

Глава 5. Эффективная проводимость перколяционных сред	56
5.1. Аналогия с феноменологической теорией фазовых переходов 2-го рода. Скейлинг. Критические индексы	56
5.2. Эффективная проводимость как параметр порядка. Феноменологическое описание.....	62
5.3. Вычисление критических индексов.....	68
5.4. Иерархическая модель перколяционной структуры	77
Глава 6. Самодуальные среды	88
6.1. Локально изотропные среды	88
6.2. Локально анизотропные среды	99
Глава 7. Континуальная перколяционная задача	107
7.1. Типы континуальных перколяционных задач.....	107
7.2. Среда типа Swiss-Cheese.....	110
Глава 8. Среда с экспоненциально широким спектром локальных свойств	115
8.1. Постановка задачи и приближенное вычисление эффективной проводимости	115
8.2. Корреляционная длина и предэкспоненциальный множитель.....	118
Глава 9. Конечный скейлинг	124
9.1. Свойства перколяционных систем с размерами, меньшими корреляционной длины.....	124
9.2. Конечный скейлинг для самодуальных сред	131
Глава 10. Проводимость перколяционного слоя	135
10.1. Эффективная проводимость перколяционных систем в том случае, когда одни размеры больше корреляционной длины, а другие — меньше. Постановка задачи	135
10.2. Метод решения	137

Часть II. ПРОЦЕССЫ

Глава 11. Проводимость при переменном токе	142
11.1. ЕМТ-приближение	142
11.2. Метод теории протекания.....	145

Глава 12. Гальваномангнитные свойства макроскопически-неупорядоченных сред	153
12.1. Введение	153
12.2. Слоистые среды в магнитном поле.....	157
12.3. Дуальные среды в магнитном поле.....	157
12.4. Сильно неоднородные среды вблизи порога протекания, двумерный случай.....	161
12.5. Сильная неоднородность, трехмерный случай.....	169
Глава 13. Фликкер-шум (1/f-шум).....	174
13.1. Фликкер-шум в неоднородных средах.....	174
13.2. Фликкер-шум в неоднородных средах — ЕМТ-приближение	178
13.3. Фликкер-шум в перколяционных системах	179
13.4. Аномально высокий рост фликкер-шума в самодуальных средах... ..	186
13.5. Фликкер-шум в системах с экспоненциально широким спектром сопротивлений	189
13.6. Фликкер-шум при флуктуации концентрации фаз	194
Глава 14. Высшие токовые моменты	197
14.1. Определения	197
14.2. Критические индексы высших токовых моментов	199
Глава 15. Термoeлектрические свойства	204
15.1. ЕМТ-приближение	204
15.2. Термoeлектрические свойства самодуальных сред.....	207
15.3. Критическая область концентраций — поведение α_e вблизи порога протекания	210
15.4. Изоморфизм.....	215
Глава 16. Эффективные упругие свойства композитов.....	222
16.1. Основные понятия теории упругости.....	222
16.2. Эффективные упругие модули вблизи порога протекания.....	224
Глава 17. Нелинейные свойства композитов	232
17.1. Виды нелинейности	232
17.2. Случай слабой нелинейности.....	233
17.3. Случай сильной нелинейности	240

Глава 18. Эффективные свойства ферромагнитных композитов	252
18.1. Нелинейность и гистерезис в ферромагнетиках.....	252
18.2. Безгистерезисный случай.....	253
18.3. Ферромагнитные композиты с ненулевой петлей гистерезиса	255
Глава 19. Температурный коэффициент сопротивления и генерация третьей гармоники вблизи порога протекания	260
19.1. Температурный коэффициент сопротивления.....	260
19.2. Генерация третьей гармоники.....	261
Глава 20. Неустойчивость и хаос в макроскопически неоднородных средах с малой диссипацией.....	265
20.1. Дуальные среды.....	265
20.2. Лестничный фильтр	272
Глава 21. Перколяционно-подобное описание пиннинга вихрей Абрикосова	277
21.1. Пиннинг вихрей Абрикосова.....	277
21.2. Случай широкого распределения сил пиннинга.....	279
Глава 22. Локализация Андерсона в перколяционной структуре	285
22.1. Локализация Андерсона	285
22.2. Переход металл — андерсоновский диэлектрик в перколяционной структуре.....	286
Дополнение. Общие требования к эффективной проводимости статистических смесей	288
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	290