

**Введение
в обобщенную теорию
неравновесных
фазовых переходов
и термодинамический
анализ задач механики
сплошной среды**



Издательство Московского университета

2019

УДК 517.9:536

ББК 22.317

B24

Авторы:

*Е. В. Радкевич, Е. А. Лукашев, Н. Н. Яковлев,
О. А. Васильева, М. И. Сидоров*

Введение в обобщенную теорию неравновесных фазовых переходов и термодинамический анализ задач механики сплошной среды / Е. В. Радкевич [и др.] ; под ред. Е. В. Радкевича. — М. : Издательство Московского университета, 2019. — 344 с., ил.

ISBN 978-5-19-011380-8

Книга посвящена исследованию класса критических процессов, объединенных общей гипотезой, согласно которой они представляют собой неравновесные фазовые переходы: ламинарно-турбулентный переход, неустойчивость Рэлея—Бенара, кристаллизация бинарных сплавов, разрушение конструкционных материалов, неустойчивость Марангони. Для первых четырех процессов построена модель реконструкции начальной стадии неустойчивости как неравновесного перехода, механизмом которого является диффузионное расслоение. Показано, что свободная энергия Гиббса отклонения от однородного состояния (относительно рассматриваемой неустойчивости) есть аналог потенциалов Гинзбурга—Ландау. Проведены численные эксперименты по самовозбуждению однородного состояния при управлении отдельным краевым условием (возрастанием скорости или температуры). Установлена нелокальность возмущения, что указывает на невозможность применения в этом случае классической теории возмущения. При внешнем воздействии (возрастание скорости или температуры) наблюдается переход к хаосу через бифуркации удвоения периода подобно каскаду удвоений периода Фейгенбаума. В то же время установлено, что распространение теории неравновесных фазовых переходов на задачу Бенара—Марангони является проблематичным. Первоначальный термодинамический анализ задачи Бенара—Марангони установил невозможность построения аналога потенциала Гинзбурга—Ландау в этом случае (и тем самым невозможность применения предложенной нами схемы построения реконструкции для начальной стадии неустойчивости Марангони). Природа неустойчивости Марангони требует дальнейших исследований.

УДК 517.9:536

ББК 22.317

ISBN 978-5-19-011380-8

© Коллектив авторов, 2019

© Издательство Московского университета, 2019

Оглавление

Предисловие	6
Глава 1. Вопросы математического моделирования критических явлений	8
1.1. Общий взгляд на критические явления с точки зрения теории неравновесных фазовых переходов (концепция подхода)	9
1.2. Комментарии к работам, основные положения которых приняты в качестве конструктивных элементов представляемой концепции	17
1.3. Трактовка гидродинамических опытных данных с позиций теории неравновесных фазовых переходов (иллюстрация концепции на примере известных результатов)	44
1.4. Обоснование Н. Н. Семеновым цепной теории как пример логической конструкции, описывающей критические явления в химической кинетике	51
Глава 2. О гидродинамических неустойчивостях как неравновесных фазовых переходах (в форме Кана—Хилларда)	68
2.1. Термодинамический анализ гидродинамической неустойчивости	68
2.2. Проблемы ламинарно-турбулентного перехода	72
2.3. Гидродинамический потенциал (случай адиабатического процесса)	89
2.4. Построение модели ламинарно-турбулентного перехода как неравновесного фазового перехода	98
2.5. Гидродинамический потенциал в поле силы тяжести	112
Глава 3. Исследование неустойчивости Рэлея—Бенара методами теории неравновесных фазовых переходов в форме Кана—Хилларда	136
3.1. Термодинамический анализ конвективной неустойчивости	136
3.2. Построение модели конвективной неустойчивости Рэлея—Бенара как неравновесного фазового перехода	159
3.3. Численный эксперимент. Одномерная модель	162
Глава 4. Визуализация начальной стадии кристаллизации бинарных сплавов	178
4.1. Термодинамический анализ кристаллизации бинарных сплавов	179
4.2. Математическое моделирование формирования регулярных структур при направленной кристаллизации жаропрочных сплавов	188
4.3. Математическая формулировка одномерной модели кристаллизации	194
4.4. Математическая формулировка двумерной модели кристаллизации	214
4.5. Двумерное численное моделирование процесса кристаллизации	222
4.6. Основные выводы и заключения	225

Глава 5. Исследование процесса разрушения конструкционного материала методом математической реконструкции в форме неравновесного фазового перехода	228
5.1. Термодинамический анализ процесса разрушения конструкционного материала	228
5.2. Термодинамика упруго деформированного твердого тела	247
5.3. Калорические свойства упруго деформированных твердых тел	250
5.4. Конструирование потенциала Гинзбурга—Ландау для задачи о начальной стадии разрушения конструкционного материал в форме свободной энергии Гиббса—Гельмгольца	253
5.5. К построению модели разрушения как неравновесного фазового перехода (аналог модели И. Г. Баренблата)	261
5.6. Конструирование потенциала Гинзбурга—Ландау для задачи о начальной стадии разрушения конструкционного материала под действием теплового удара	262
5.7. Численный анализ начальной стадии разрушения конструкционного материала как неравновесного фазового перехода	268
5.8. Примеры визуализации решения	268
Глава 6. Распространение теории неравновесных фазовых переходов на задачу Бенара—Марангони	279
6.1. Постановка задачи и исходные данные	280
6.2. Основные итоги и выводы	286
6.3. О принципе избыточности	287
Глава 7. Проблемы термодинамического анализа моделей механики сплошной среды	294
7.1. Критерий направленности процесса (история вопроса)	294
7.2. Трактовка теории спиноподального распада Кана—Хилларда по результатам экспериментальных исследований	301
7.3. Некоторые аспекты теории капиллярности (история вопроса) ...	305
7.4. Трактовка гидродинамических опытных данных, полученных при изучении пограничных слоев, с позиций теории неравновесных фазовых переходов (иллюстрация концепции на примере известных результатов)	307
7.5. О согласованном поведении надмолекулярных структур на примере образования полимерных молекул (по Н. Н. Семенову)	320
7.6. Математические модели критических явлений, сформулированные в терминах химической кинетики для автоколебательных реакций типа реакции Белоусова—Жаботинского	322
Литература	330