

## БИБЛИОГРАФИЯ

## Термодинамика хаотических систем

PACS numbers: 01.30.Tt, 05.45.+b, 05.70

**Beck C., Schlogl F.** *Thermodynamics of Chaotic Systems* (Cambridge: Cambridge University Press, 1993) 270 p.

Со времени классических работ Больцмана и Пуанкаре сложное движение в нелинейных диссипативных системах описывается двумя способами: либо методами кинетической теории (термодинамики необратимых нелинейных процессов), либо методами динамической теории Пуанкаре, развитой первоначально для гамильтоновых систем.

До недавнего времени эти теории развивались практически независимо. В настоящее время быстрое развитие статистической теории открытых систем и в особенности теории самоорганизации привело к необходимости синтеза этих двух научных направлений. Этой важной цели и служит книга "Термодинамика хаотических систем".

Именно в этой книге термодинамические концепции служат для анализа нелинейных диссипативных динамических систем со сложным поведением. Она представляет собой элементарное и доступное введение в предмет, которое, несомненно, будет полезно для широкого круга не только физиков, но и специалистов иного профиля. У читателя не предполагаются необходимыми специальные математические знания.

Основная цель книги — подчеркнуть интересные и глубокие аналогии между термодинамическими методами в нелинейной хаотической динамике и общепринятыми понятиями статистической механики.

Книга разделена на пять частей.

В части I "Сущность нелинейной динамики" дается краткое элементарное представление основных понятий и явлений теории нелинейных динамических систем.

Часть II "Сущность теории информации и термодинамики" содержит основные концепции термодинамического анализа хаотических систем. Авторы определяют здесь информацию Шеннона, приращение информации (энтропию Кулльбака) и информацию Реньи и детально рассматривают общие свойства этих характеристик. Здесь приведены результаты термодинамики, которые необходимы для понимания дальнейшего материала книги.

В части III "Термодинамика мультифракталей" термодинамический метод используется для анализа распределения вероятностей для сложных фрактальных структур. Вводится важное понятие "сопровождающие распределения" ("escort distributions"), которые имеют форму канонического распределения статистической термодинамики. Это позволяет получить основные термодинамические соотношения для хаотических систем.

Часть IV "Динамический анализ хаотических систем" посвящена рассмотрению временной эволюции динамических хаотических систем. Здесь важные величины, характеризующие нелинейные системы, такие как размерность Реньи, энтропии (динамические) Реньи, обобщенные ляпуновские экспоненты, анализируются на основе плотности свободной энергии в "термодинамическом пределе". Последнее понятие для отображений используется для предельного случая, когда размер ячеек фазового пространства стремится к нулю, а номер итерации отображения стремится к бесконечности.

Последняя часть книги "Обобщенная термодинамика" ("Advanced thermodynamics") посвящена обсуждению возможного объединения различных термодинамических концепций в единую теорию. Это оказывается возможным для специального класса так называемых "гиперболических" отображений. Для таких отображений свободная энергия достаточна для получения всех основных характеристик: размерностей Реньи, энтропий Реньи, обобщенных ляпуновских экспонент. Здесь авторы устанавливают традиционный в термодинамике вариационный принцип минимума свободной энергии.

В заключительном разделе этой главы развивается теория фазовых переходов для хаотических систем, которые — как и в обычной статистической механике — соответствуют неаналитическому поведению свободной энергии в критической точке. Приводится классификация фазовых переходов и объяснение их механизмов.

Таким образом, несомненно, книга будет полезна не только научным работникам, но и студентам физических, химических и биологических факультетов.

Естественно, что в сравнительно небольшой книге (около 270 страниц) невозможно дать полное представление о современном состоянии статистической теории открытых систем со сложным ("хаотическим") поведением.

Действительно, часть IV посвящена динамическим аспектам, касающимся временной эволюции динамических хаотических систем. При этом появляется следующий вопрос: каково соотношение понятий "эволюция" и "самоорганизация"? Когда говорится о самоорганизации, то имеется в виду процесс, приводящий к более сложным и более организованным структурам. Можно тогда спросить: является ли любой процесс эволюции процессом самоорганизации? Ответ, естественно, отрицательный, поскольку "внутреннее стремление к самоорганизации" не является общим свойством ни физических, ни биологических систем. Эволюция может вести и к деградации. Физическим примером служит переход к равновесному состоянию, которое согласно Больцману и Гиббсу является наиболее хаотическим. Таким образом,

самоорганизация — лишь один из возможных путей эволюции.

Весьма существенны также следующие замечания.

Кинетическая теория (статистическая теория неравновесных процессов) строится, как правило, без использования основных идей динамической теории, понятий динамического хаоса, К-энтропии, перемешивания. Эти понятия могут, однако, пролить свет на причины необратимости. Первый шаг в этом направлении был сделан Н.С. Крыловым (1950). Динамическая неустойчивость движения атомов в газе Больцмана ведет к перемешиванию и, таким образом, открывает путь для перехода от обратимых уравнений механики Гамильтона к необратимому кинетическому уравнению Больцмана. В этом проявляется конструктивная роль динамической неустойчивости движения атомов при построении статистической теории неравновесных процессов в открытых системах [1–3, 6 и цит. там литература].

Может ли и динамическая неустойчивость движения макроскопических характеристик играть конструктивную роль? Будет ли она вести к диссипативным структурам или к хаосу? Для ответа на эти вопросы необходим критерий относительной степени упорядоченности неравновесных состояний открытых систем. Было показано (Климонтвич, 1983, 1984; см. в [1–7]), что энтропия Больцмана–Гиббса–Шеннона, перенормированная к заданному значению средней эффективной энергии — эффективной функции Гамильтона, служит таким критерием. Критерий был сформулирован в виде "S-теоремы" [1–7]. В этом названии "S" от слова (Selforganization). Этим подчеркивается, что "S-теорема" служит критерием самоорганизации. Критерий "S-теорема" позво-

ляет также проверить правильность выбора управляющих параметров.

Важно отметить, что существует прямая связь полученных на основе эксперимента и перенормированных функций распределения с "сопровождающей функцией распределения" ("escort distribution function") и информации (или энтропии) Реньи, т.е. с основными понятиями рецензируемой книги [7].

Мы видим, что книга "Термодинамика хаотических систем" Кристиана Бека и Фридриха Шлегля играет роль моста от динамической теории хаотических движений к статистической теории открытых систем, в частности к теории самоорганизации.

Ю.Л. Климонтвич

### Список литературы

1. Климонтвич Ю Л Определение относительной степени упорядоченности в открытых системах на основе S-теоремы по экспериментальным данным *ЖТФ* 14 2226 (1987)
2. Климонтвич Ю Л *Статистическая физика* (М.: Наука, 1982); англ. перевод: (New York: Harwood Academic Publ., 1986)
3. Климонтвич Ю Л Турбулентное движение и структура хаоса (М.: Наука, 1990); англ. перевод: (Dordrecht, Holland: Kluwer Academic Publ., 1991)
4. Ebeling W, Klimontovich Yu L *Self-Organization and Turbulence in Liquids* (Leipzig: Teubner, 1984)
5. Haken H *Information and Self-Organization* (Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1988); перевод: (М.: Мир, 1991)
6. Klimontovich Yu L *Statistical Theory of Open Systems* (Dordrecht, Holland: Academic Publ. 1994 (in press))
7. Klimontovich Yu L *Criteria of Self-Organization. Chaos, Solitons and Fractals* (1994) (in press)

### ПОПРАВКА

В статье В.И. Высоцкого, В.И. Воронцова, Р.Н. Кузьмина, П.А. Безирганяна, А.Г. Ростомьяна "Опыт Саньяка на рентгеновском излучении" ("УФН", март 1994 г., т. 164, № 3) на с. 323 в списке литературы следует читать "6. Берштейн И.Л. *ДАН СССР* 75 (5), 635 (1950)". В английском издании указанной печатки нет. Авторы благодарны И.Л. Берштейну за письмо, направленное в редакцию "УФН", в котором были указаны правильные данные о его статье.

От авторов Р.Н. Кузьмин

Успехи физических наук, т. 164, № 7

Редактор В.В. Власов  
Референт редакции Л.И. Шубина  
Литературный редактор Т.С. Вайсберг

Сдано в набор 05.05.94 г. Подписано к печати 01.07.94 г. Формат 60 × 88/8.  
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл. печ.л. 14,7. Усл. кр.-отт. 15,44.  
Уч.-изд.л. 18,35. Тираж 1400 экз. Заказ . Цена 750 р.

Адрес редакции: 117071, Москва В-71, Ленинский проспект, 15.  
Тел. (095) 955-03-25. Тел./факс (095) 190-42-44.  
Факс (095) 135-88-60. E-mail: postmaster@ufn.msk.su

Оригинал-макет подготовлен в Редакции журнала "Успехи физических наук".  
Номер набран и сверстан с использованием системы Advent 3B2 Total Publishing System на оборудовании,  
предоставленном фирмой "Turpion Ltd" (UK)

Отпечатано в типографии ИТАР-ТАСС. 129085, Москва, Звездный бульвар, 17