

Предисловие

Почти все структурные образования, которые мы наблюдаем в реальности и выделяем для исследования (биологические организмы и популяции различных видов, среди них, популяции человека со особыми подсистемами: народное хозяйство, денежно-кредитная система, наука и т.д), с точки зрения термодинамики находятся в неравновесном состоянии. Возможны различные способы описания такого рода систем; теорию можно сформулировать универсальным образом, полагая, что состояние системы фиксируется не только величинами, характеризующими термодинамическое равновесие (будем называть такие величины *фундаментальными переменными*), но также и набором дополнительных величин, которые описывают отклонения термодинамической системы от состояния равновесия. Существование такого рода величин, которые получили название *внутренних переменных*, является признаком, который отличает неравновесные состояния термодинамической системы от равновесных. Наблюдаемые систем характеризуются внутренними переменными с различными временами релаксации; при очень больших временах релаксации неравновесная система замирает во времени и воспринимается как неизменная структура. Структура и поведение неравновесной термодинамической системы определяется внутренними переменными. Такие переменные термодинамики как объем, давление и другие не играют существенной роли в описании поведения очень сложных систем, таких как биологические организмы и популяции различных видов, например. Однако, энергия и энтропия остаются фундаментальными понятиями в любых случаях.

Неравновесная термодинамика оказывается универсальным основанием при описании поведения сложной системы, и в первых главах книги, я старался представить основные понятия и принципы нерав-

новесной термодинамики имея в виду использование этих понятий и принципов к открытым системам и неравновесным ситуациям, далеким от равновесия. Изложение начинается с определения термодинамической системы и разворачивается шаг за шагом, так что читатель может проследить ход рассуждений, тем не менее предварительное знание некоторых понятий физики и термодинамики (не говоря про умение оперировать с математическими символами) облегчит восприятие. Последовательное использование *термодинамических внутренних переменных* позволяет нам принимать во внимание сложность системы и описывать ее динамику. В главах, следующих за изложением фундаментальных принципов, рассматриваются некоторые приложения общей теории неравновесной термодинамики сложных систем. Я надеюсь, что представленный краткий обзор классических результатов может быть полезным для тех, кто занят приложениями термодинамики к описанию реальных объектов.

Необходимость представить непротиворечивое изложение принципов термодинамики необратимых систем возникла, когда я читал лекции моим студентам прикладной математики в составе курса "Методы математического моделирования" много, много лет назад. Я не нашел подходящее изложение среди доступных источников; курс теоретической физики Ландау и Лифшица, к которому я всегда обращался в затруднительных случаях, меня разочаровал в этом отношении, и я был вынужден приступить к формулировке собственного варианта теории, которая была изложена первоначально в статьях, а затем в книге "Введение в термодинамику сложных систем", опубликованной издательством URSS в 2014 году. Первая часть предлагаемой книги содержит более детальное (и уточненное) оригинальное изложение принципов термодинамики необратимых систем. Дальнейшие части содержат интерпретацию поведения сложных систем с термодинамической точки зрения; в некоторые главы этих частей включен пересмотренный материал предыдущей книги.

Русский вариант книги расширен по сравнению с публикацией на английском языке, которая была осуществлена издательством Института Физики (IOP Publishing, Bristol, UK) в августе 2020 года как Thermodynamics of Complex Systems (<https://store.ioppublishing.org/page/detail/Thermodynamics-of-Complex-Systems/?K=9780750334518>). Предварительно текст книги на английском языке были предложен для обсуждения на портале ResearchGate (<https://www.researchgate.net/>). Я признателен исследователям, которые прислали мне комментарии к моей работе, среди них: Ben Akih kumgeh, Théodore Bouchez, Erik Brown, Delton Chen, Vera Maura Fernandes de Lima, Marc Le Goc,

Purushottam D. Gujrati, Luciano Martinez-Balbuena, Wolfgang Muschik, Alfredo Pereira Junior, Marko Popovic, Vit Průša, Bartolomé Sabater, Robert Shour, A. M. Toikka, Mohammad Wahiduzzaman. Их отзывы помогли мне, я надеюсь, улучшить изложение.

Я полагаю, книга может использоваться студентами и аспирантами различных специальностей, которые собираются развивать математические модели реальных явлений. Форма лекций не предполагала длительных экскурсов в историю возникновения понятий и принципов термодинамики, так что мой список литературы не является настолько обширным, как ему следовало бы быть, если бы я ставил своей целью рассказать о многих замечательных работах и их авторах, внесших существенный вклад в понимание проблемы. Читатель должен понимать, что это является следствием ситуации, но, ни в коем случае, злого намерения.

Автор будет признателен за любые комментарии.

Владимир Н. Покровский
www.ecodynamics.narod.ru

Москва
сентябрь 2022