

Основы теории самоорганизации. Основные принципы и модели.

Foundations of the theory of self-organization. Basic principles and models

Лектор – ведущий научный сотрудник химического факультета МГУ кандидат физико-математических наук И.К. Кудрявцев.

В курсе излагаются основные принципы самопроизвольного (не требующего внешних организующих воздействий) установления устойчивых регулярных структур в неравновесных диссипативных средах. Акцент делается на том, что главные закономерности и основные модели оказываются общими для систем, рассматриваемых как в естественных, так и в гуманитарных дисциплинах.

Рассматриваются основы равновесной и неравновесной термодинамики, производится стандартная классификация систем (изолированные, замкнутые, открытые), формулируются первое и второе начало термодинамики, подчеркивается связь между энтропией и степенью упорядоченности системы. Сформулированы основные условия, которыми должна обладать система для возникновения диссипативных структур (неравновесность, открытость, нелинейность).

Излагаются основы химической термодинамики, сформулированы условия термодинамического равновесия для химических систем. Рассмотрена кинетика простейших химических реакций (мономолекулярной, автокаталитической и т.д.) и проанализированы свойства обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих эту кинетику. Введены основные понятия теории нелинейных дифференциальных уравнений (нейтральная и асимптотическая устойчивость, аттрактор и т.д.). Для случая систем с одной степенью свободы рассмотрены 1-ая и 2-ая модели Шлегля как примеры моделей, когда стационарные состояния могут при разных значениях контрольных параметров быть как устойчивыми, так и неустойчивыми.

Анализ систем с двумя степенями свободы дает возможность исследовать колебательные режимы. Классификация особых точек приводит как к режимам, характеристики которых зависят от начальных условий (модель Лотка-Вольтерра, позволяющая описать систему «хищник-жертва», хорошо известную в биологии), так и к режимам, соответствующих аттракторам. Рассмотрение «брюсселятора», или тримолекулярной модели, дает нам пример простейшей (правда, гипотетической) химической системы, обладающей устойчивым колебательным режимом. В случае системы с тремя степенями свободы другая известная модель - «орегонатор» - позволяет описать известную колебательную реакцию Белоусова-Жаботинского.

Включение в рассмотрение диффузии позволяет перейти к анализу пространственных структур. Соответствующая неустойчивость называется неустойчивостью Тьюринга. Ею обладает так называемая модель Тьюринга, которая описывает систему с двумя химическими степенями свободы (соответствующие функции в кинетических уравнениях системы являются нелинейными) и одномерной диффузией. Эта модель имеет большое значение в биологии.

Дальнейшее усложнение системы приводит к целой иерархии возникающих режимов (множественным бифуркациям) с возможным возникновением хаотического режима.

Рассмотрены многочисленные примеры реакционно-диффузионных систем, в которых возникают пространственно-временные структуры. Они относятся как к неживой (сталактиты, сталагмиты, кольца Лизеганга и т. д.), так и живой природе (остеогенезис, гомеостаз, рисунки шкуры животных и т. д.). Многие процессы, рассматриваемые в гуманитарных дисциплинах (экономике, медицине, социально-экономических науках) можно моделировать как процессы, происходящие в химическом реакторе, и применить к ним изложенный выше подход. Будут приведены соответствующие примеры.

Отдельное внимание уделено так называемой консервативной самоорганизации (самосборке), имеющей место при равновесных условиях (возникновение упорядоченностей в системах высокомолекулярных соединений, в частности, в ДНК). Особенно такой подход актуален при рассмотрении наносистем.

В заключении будут рассмотрены философские аспекты рассматриваемых проблем (вопросы детерминизма и индетерминизма, синергетика как парадигма нелинейности, проблемы, связанные с горизонтом событий и т.д.).

Спецкурс предназначен для студентов, аспирантов и научных сотрудников, интересующихся проблемами синергетики и самоорганизации в различных областях и не требует специальной математической подготовки.