

*Серия: «Синергетика: от прошлого к будущему»*

## **ПУТЬ В СИНЕРГЕТИКУ**

### **Экскурс в десяти лекциях**

*Б.П. Безручко, А.А. Короновский, Д.И. Трубецков, А.Е. Храмов*

© Коллектив авторов, 2005  
© КомКнига, 2005  
М.: КомКнига, 2005. 304 с., илл.  
ISBN 5-484-00266-4

Книга посвящена одному из наиболее перспективных междисциплинарных подходов – теории самоорганизации, или синергетике. Известный физик и замечательный писатель Чарльз Сноу в середине XX века сетовал на опасную пропасть в науке, которая пролегла между естественно-научной и гуманитарной культурами. Одна из целей синергетики – перебросить мост через эту пропасть. Понятия, идеи, концепции синергетики сейчас все шире используются в экономике и социологии, в политике и бизнесе, в психологии и государственном управлении, оказывая тем самым влияние на наше мировоззрение. Книга знакомит всех интересующихся и, прежде всего, представителей гуманитарного знания с естественно-научными корнями синергетики, с развитием и применением этих идей в науках о человеке и обществе.

В основу книги положены курсы лекций, которые читались на социально-гуманитарном, философском, биологическом, геологическом факультетах и факультете компьютерных наук и информационных технологий Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского. Опыт авторов показывает, что материал книги успешно и с интересом осваивается и школьниками. Представленные лекции во многом соответствуют программе курса «Синергетика: новое мировидение» для 11-го класса общеобразовательных школ, гимназий и лицеев, рекомендованного Министерством образования РФ. Поэтому круг читателей этой книги может быть достаточно широк.

## Введение

Синергетику можно рассматривать как форум, на котором ученые разных дисциплин встретились друг с другом для того, чтобы обменяться своими идеями, как справиться с большими системами.

*Г.Хакен*

В 90-е годы XX столетия человечество занимает проблемы не только политические, но и социальные, экономические и экологические; они тесно взаимосвязаны, носят глобальный характер и оказывают воздействие на всех и вся.

*Э.Ласло*

Вероятно, что для всех нас было бы гораздо лучше, если бы не только при обучении и в научной работе, но и в повседневной политической и экономической жизни как можно большее число людей поняло, что простые динамические системы не обязательно приводят к простому поведению.

*Р.Мэй*

Главная цель этого лекционного курса – показать студентам (в первую очередь, гуманитариям) как нелинейная динамика, или синергетика (новое научное мировоззрение нашего времени), проникает в разные науки, и, что не менее важно, познакомить читателей с основными понятиями и подходами синергетики, под которой сами авторы понимают современную нелинейную теорию колебаний и волн, теорию самоорганизации открытых систем, а также научные направления, связанные с ними. Первый эпиграф к предисловию в значительной мере раскрывает основные идеи и подходы, положенные в основу лекционного курса – это встреча и обмен идеями самых разных дисциплин – от физики и астрономии до социологии, психологии и экономики. Здесь уместно привести еще одно высказывание Германа Хакена, которое близко к идеологии нашего лекционного курса:

«Данная конференция, как и все предыдущие, показала, что между поведением совершенно различных систем, изучаемых различными науками, существуют поистине удивительные аналогии. С этой точки зрения, данная конференция служит еще одним примером существования новой области науки – Синергетики. Разумеется, Синергетика существует не сама по себе, а связана с другими науками, по крайней мере, двойко. Во-первых, изучаемые Синергетикой системы относятся к компетенции различных наук. Во-вторых, другие науки приносят в Синергетику свои идеи...»

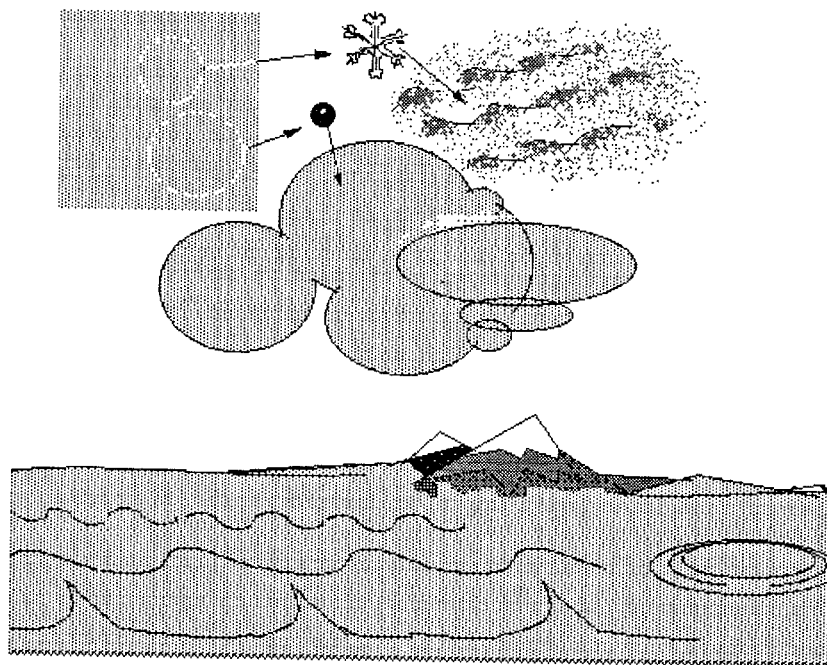
Более развернуто предмет курса можно определить словами, взятыми из известной статьи Ю.А.Данилова «Роль и место синергетики в современной науке».

Синергетика:

- междисциплинарное («наддисциплинарное») научное направление;
- занимается изучением систем, состоящих из большого числа частей, компонент или подсистем взаимодействующих между собой; слово «синергетика» означает «совместное действие», подчеркивая согласованность функционирования частей, отражающуюся в поведении системы как целого;
- предметом изучения могут быть системы различной природы; синергетику интересуют общие закономерности эволюции (развития, движения), она старается свести рассмотрение к модели, общей для «чужеродных» систем;
- физика, химия, биология, нейрофизиология, экономика, социология, лингвистика и т.д. изучают «свои» системы своими методами и формулируют результаты на «своем» языке; синергетика пользуется универсальным языком, сформировавшимся на основе, в первую очередь, теории колебаний и качественной теории дифференциальных уравнений;
- наука о самоорганизации; рассмотрение чаще проводится на таком уровне, с которого процессы и структуры в системе видятся возникающими «сами собой», вследствие самоорганизации, без руководящей и направляющей «руки», действующей извне;
- выделяет немногочисленные параметры порядка, от которых зависят величины, характеризующие состояние системы, и которые, в свою очередь, могут влиять на параметры порядка. Добавим еще от себя, что синергетика:

- видит эволюцию как череду сменяющих друг друга структур; при определенных условиях (значениях параметров порядка) структуры теряют устойчивость, разрушаются и заменяются новыми.

Смысл, вкладываемый в приведенные слова, мы раскрываем в последующих лекциях, а пока достаточно иллюстративного примера. Представьте себе, например, совокупность большого числа молекул воды в атмосфере Земли (систему) (рис.). Молекулы беспорядочно движутся; мерой этого движения является температура (которая играет роль параметра порядка). Все молекулы притягиваются друг к другу, если расстояние между ними превышает их размер. Но при больших значениях температуры, они интенсивно двигаясь, не могут «слипнуться», и довольно равномерно рассеяны по пространству – система однородна. На левой верхней части рисунка они представлены черными точками. С понижением температуры, до некоторого критического значения, однородное состояние становится неустойчивым, разрушается и заменяется новым, в котором молекулы распределены в пространстве уже неоднородно – образуются структуры. Так в зависимости от предыстории (скорости охлаждения, наличия пыли и т.п.) в атмосфере образуются или округлые капельки воды, или узорчатые снежинки, или кусочки льда. Эти образовавшиеся сами собой (самоорганизовавшиеся) структуры составляют те же молекулы воды, но в сцепленном состоянии. Скопления капелек или снежинок, в свою очередь, образуют облака – структуры еще большего пространственного масштаба. Характеристики сформировавшихся структур, например, размеры и плотность облачного покрова, могут в свою очередь определять порядок в рассматриваемой системе (тоже играть роль параметров порядка). В рассматриваемой нами системе – Земле с ее атмосферой и молекулами воды – это проявляется в неоднородности нагрева поверхности Земли Солнцем, образованием гигантских атмосферных образований – вихрей, течений, которые переносят тепло, определяя погоду на планете.



**Рис.** Некоторые макроструктуры, образующиеся в системе взаимодействующих частичек воды

Однородное состояние жидкости в водоеме, заполненном слившимися каплями, тоже может терять устойчивость и заменяться структурами с различными пространственными конфигурациями. Зеркальная поверхность озера покрывается узором бегущих волн при малейшем ветре, по ней бегут сложно устроенные группы круговых волн после падения камня. В воде структуры возникают при увеличении скорости течения струи, когда образуются изгибы, вихри, так что из ранее однородного течения поэтапно эволюционирует к беспорядочному «турбулентному». В покрывающем вращающуюся Землю океане тоже формируются гигантские структуры. Документальное подтверждение сказанному вы найдете на приведенных фотографиях и в материалах последующих глав. Нечто подобное, рассмотренное на примере из неживой природы, имеет место и в природе живой, и даже в человеческом обществе. Колеблются во времени и образуют структуры с различной плотностью заселенности в пространстве взаимодействующие популяции животных (зайцы и лисы, рыбы и планктон). Примером явлений самоорганизации в социальных системах может служить расслоение ранее однородного общества по мере развития средств производства – концентрация богатств в руках определенных групп, организация партий и движений. Естественно, что различные формы существования материи имеют свои особенности и нельзя совокупность молекул свести к совокупности людей, но универсальные закономерности, если они имеют место в мире и если они действительно универсальны, должны проявляться на различных уровнях сложности систем.

Будучи по образованию и профессиональным интересам физиками, мы предлагаем естественно-научное представление предмета, хотя и адаптированное для широкого читателя. Мы ориентировались на читателя, знакомого с математическим аппаратом в пределах школы и даже несколько подзабывшего его, поэтому старались по мере возможности избегать сложных формул и математических выкладок. Где этого сделать не удалось, приведено упрощенное изложение требуемого математического аппарата. С целью объяснения необходимости достаточно строгих представлений и агитации гуманитариев приложить некоторые усилия на освоение предлагаемого математического минимума, в книге приведены сведения по истории физики, математики и математическому моделированию. Одновременно, мы постарались использовать как можно больше иллюстраций, чтобы сделать знакомство с синергетикой более наглядным и эстетически привлекательным.

Структура лекционного курса следующая. Первая лекция посвящена обсуждению предмета курса, даются основные определения, обсуждается современная обстановка вокруг синергетики. Во второй лекции описан основной инструмент синергетики – моделирование, с помощью которого синергетика находит общее в самых различных областях знания (физика, радиофизика, биология, химия, экономика, общественные науки и т.д.). Третья лекция представляет собой математическое введение, в котором на доступном уровне собраны основные сведения из математики, без которых не обойтись при изложении основ синергетики. В четвертой лекции вводится чрезвычайно важное для синергетики понятие динамической системы. Пятая, шестая, седьмая и восьмая лекции посвящены изложению основ базовых дисциплин, составляющих фундамент синергетики – соответственно теории колебаний и волн, самоорганизации в открытых системах и теории бифуркаций. В этих лекциях обсуждаются основные универсальные явления (колебания, волны, паттерны, бифуркации и т.д.), которые наблюдаются в системах самой различной природы, включая социальные, биологические, экономические, физиологические и другие системы. Девятая лекция содержит в себе рассказ об одной из простейших моделей для описания процессов образования структур (паттернов) – клеточных автоматов и решеточных газах. И, наконец, десятая лекция посвящена наиболее яркому открытию в нелинейной науке XX века – открытию детерминированного (или динамического) хаоса. Отметим, что в тексте лекций есть основной «базовый» материал, который

набран крупным шрифтом, а также дополнительный «необязательный» материал, который набирается меньшим шрифтом и содержит либо более сложный материал, либо какие-то «изящные» вещи, призванные привлечь внимание читателя к нестандартным трактовкам того или иного вопроса, также оформлены и цитаты. В конце книги приведены приложения, в которых собраны дополнительные материалы по вводному курсу в синергетику, а также список рефератов, которые можно рекомендовать для самостоятельной работы студентов.

Здесь мы не будем подробно обсуждать содержание каждой лекции, поскольку книгу предваряет расширенное оглавление, которое повторяется перед текстом каждой из лекций.

\*\*\*

Мы надеемся, что книга будет полезна не только студентам при изучении курса «Синергетика», но и представителям как технических, так и гуманитарных специальностей, которые хотят познакомиться с таким интересным и бурно развивающимся научным направлением, как нелинейная динамика, или синергетика. В частности, материал книги во многом соответствует программе курса «Синергетика: новое мировидение» для 11 класса общеобразовательных школ, гимназий и лицеев, рекомендованной Департаментом общего среднего образования Министерства образования Российской Федерации.

В заключение отметим, что читателю, который после знакомства с лекциями будет заинтересован в более глубоком знакомстве с нелинейной динамикой (синергетикой), можно посоветовать обратиться к литературе, указанной ниже в разделе «Основная рекомендуемая литература».

\*\*\*

## Содержание

**Предисловие.** Шпаргалка по проектированию будущего. *С. Милов*

**Предисловие.** Через тернии к звездам. *Г. Малинецкий*

### Введение

**Лекция первая.** Что такое «синергетика»? *Контрольные вопросы к первой лекции.*

**Лекция вторая.** Моделирование – универсальный инструмент синергетики (или что общего у груза на пружинке с зайцами и лисами). Понятие модели. Познавательная роль моделей. Какие бывают модели и как они рождаются. Особая роль математических моделей. В чем причина исключительной эффективности математики? Что общего находит синергетика в системах различной природы? *Контрольные вопросы ко второй лекции.*

**Лекция третья.** Математические понятия, без которых не обойтись. Почему в нашем курсе много физики и математики? Численные значения характеризующих систему величин. Переменные и параметры. Динамический и статистический подходы к описанию объектов и явлений. Линейность и нелинейность. Фракталы. *Контрольные вопросы к третьей лекции.*

**Лекция четвертая.** Динамическая система. Что такое «динамическая система»? Динамические системы с дискретным временем. Динамические системы с непрерывным временем. Распределенные системы. *Контрольные вопросы к четвертой лекции.*

**Лекция пятая.** Колебания. Основные понятия и определения теории колебаний. Линейные колебания и их свойства. Явление резонанса. Нелинейные колебания. Представление колебаний в фазовом пространстве. Автоколебания и их свойства. Примеры колебаний. *Контрольные вопросы к пятой лекции.*

**Лекция шестая.** Волны. Что такое волна? Свойства волн. Волны на воде. Нелинейные волны. Ударные волны. Уединенные волны (солитоны). *Контрольные вопросы к шестой главе.*

**Лекция седьмая.** Примеры процессов самоорганизации в различных системах. Структуры Тьюринга. Вихри Тейлора в течении Куэтта. Ячейки Бенара. Рябь Фарадея. Вихри за движущимся объектом. Процессы самоорганизации в человеческом обществе. *Контрольные вопросы к седьмой лекции.*

**Лекция восьмая.** Бифуркации. *Контрольные вопросы к восьмой лекции.*

**Лекция девятая.** Клеточные автоматы. Что такое «клеточный автомат»? Искусственная жизнь. Клеточные автоматы и моделирование динамики биологических Популяций. *Контрольные вопросы к девятой лекции.*

**Лекция десятая.** Динамический хаос. Как возникает случайность в динамической системе? Сценарии перехода к хаосу. Другие сценарии возникновения хаоса: перемежаемость и разрушение квазипериодических колебаний. *Контрольные вопросы к десятой лекции.*

**Приложение А.** Вступительное слово на конференции «Нелинейная динамика открытых систем в гуманитарных и общественных науках».

**Приложение Б.** Список рефератов по курсу «Синергетика».

**Приложение В.** Библиография избранных статей в журнале «Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика», посвященных приложению методов синергетики в гуманитарных, экономических, биологических и других нефизических науках.

**Основная рекомендуемая литература**