



Изв. вузов «ПНД», т.12, № 1-2, 2004

Синергетика: от прошлого к будущему

ВВЕДЕНИЕ В СИНЕРГЕТИКУ. ХАОС И СТРУКТУРЫ

Д.И. Трубецков

© Д.И. Трубецков, 1997, 2004

© Предисловие: Г.Г. Малинецкий, 2004

© Едиториал УРСС, 2004

М.: Едиториал УРСС, 2004. ISBN 5-354-00532-9

Современная наука о колебаниях и волнах представлена в книге своими эффектами и явлениями, встречающимися в медицине, химии, экологии, гидродинамике, электронике, экономике, социальных и других науках. Цель книги - показать, что такие понятия, как колебания и волны, неустойчивость и нелинейность, хаос и структуры позволяют понять единство современной картины мира. В книге также показано, как связанные с этими понятиями идеи проникают в разные науки.

Особое внимание уделено хаосу и структурам - центральным темам синергетики. Книга представляет самостоятельный интерес, но может рассматриваться и как продолжение книги Д.И. Трубецкова «Введение в синергетику. Колебания и волны» (М.: УРСС, 2003).

Книга может быть полезна учащимся физико-математических классов, студентам первых курсов естественнонаучных специальностей университетов. В основу книги легли лекции автора, которые были прочитаны в Саратовском государственном университете гуманитариям. Поэтому книга может быть интересна и полезна широкому кругу читателей, интересующихся синергетикой.

Предисловие. Знак пути

Служение стихиям не терпит суеты!
К двум полюсам ведет меридиан.
Благословенны вечные хребты,
Благословен великий океан!

В.С. Высоцкий

Филологи утверждают, что в мировой литературе существует не более двух десятков базовых сюжетов. Их вариации, сочетания, модификации и порождают все богатство - от древних эпосов до сценариев сериалов.

Одним из главных среди них является сюжет о Пути. Одиссей, прогневавший богов, стремясь в родную Итаку, переживает множество приключений и видит мир совершенно не таким, каким его представлял. Вергилий показывает Данте тьму и свет, чтобы он смог увидеть суровую повседневность средневековой Италии в новом ракурсе. Фродо Бэггинс вместе с друзьями несет Кольцо Всевластья в страшный Мордор, чтобы спасти Средиземье.

И после того, как путь пройден, цель достигнута, становится понятно, что Цель станет дверью в будущее (а может быть и тем, без чего будущее бы не состоялось), а Путь - уроком и легендой. Символы пути занимают важное место в мифах, религиях, преданиях.

И мне бы хотелось обратить внимание читателя, открывшего эту книгу, на пути, связанные с синергетикой - междисциплинарным подходом, с которым многие исследователи, руководители, преподаватели, философы, люди гуманитарной культуры связывают большие надежды. Итак - в путь!

Книга Дмитрия Ивановича Трубецкова, которую Вы держите в руках, поможет Вам пройти путь, ведущий в мир теории самоорганизации. Конечно, прежде чем отправиться в дорогу, естественно взглянуть на карту, получше узнать о пункте назначения, а главное - об ожидаемых трудностях, опасностях, рифах, мелях и о том, что следует захватить в дорогу.

Начну с главного. Это очень талантливая, интересная, серьезная книга. И мне кажется, что об этом очень важно предупредить читателя. Потому что такая книга, будучи внимательно прочитана, осмыслена, понята, может очень сильно изменить взгляд читателя на мир, повлиять на его научную судьбу или профессиональную деятельность.

Думаю, что почти в каждой научной судьбе есть книга, которая оказала решающее влияние на выбор жизненного пути, задач и проблем, которые станут «своими». У меня такой книгой стала в свое время книга Бориса Борисовича Кадомцева «Коллективные явления в физике плазмы». На мой взгляд, есть в этом некое таинство. С одной стороны, сказанное должно быть понятно, интересно и достаточно просто. С другой - должно быть видно, что здесь есть огромное поле для дальнейшей деятельности и что в этом поле есть место для тебя. Книга Дмитрия Ивановича относится к таким замечательным работам.

Альберт Эйнштейн как-то сказал, что современные ученые ничего не хотят знать, но все хотят понимать. Но что такое «понимать»? Вероятно, это умение сопоставлять данному сложному явлению какой-то наглядный образ, концептуальную или математическую модель, которая представляется простой или очевидной. Иными словами, - мы можем сформулировать, выразить и передать другим только то, для чего у нас есть подходящие слова в языке. «Понимание» в современном естествознании все чаще оказывается связанным с образами, понятиями, моделями синергетики. С соответствующими «словами» нелинейного языка - базовыми математическими моделями нелинейной динамики. Так вот, в главном - это книга о способе «понимать» многие интересные и важные явления и в естественных, и в гуманитарных науках. И тут мы приходим еще к одному важному пункту, касающемуся этой замечательной работы, еще к одной метке на карте. Английский физик и писатель Чарльз Сноу в послевоенные годы писал о пропасти между двумя культурами - естественно-научной и гуманитарной. Первая, по его мысли, живет будущим. Вторая прошлым. Первая - умеет. Вторая - желает и мечтает. Пропасть углубляется благодаря непониманию, незнанию или попросту недооценке языка коллег (подчас сидящих в соседней комнате). По мнению Ч. Сноу, эта пропасть может стать серьезной опасностью для самой будущности нашей цивилизации.

И пропасть эту можно преодолевать по-разному. Это могут делать поэты - в мимолетном чувстве увидеть отблеск всеобщего и сумевшие это передать другим. Помните, как у Маршака: «Пусть добрым будет ум у вас, а сердце мудрым будет».

Это могут делать такие смелые и блестящие лекторы, как Дмитрий Иванович, готовые поделиться своим сокровенным, естественно-научным, с людьми другой культуры или другого поколения. Материал, изложенный в этой книге, был прочитан в качестве лекционного курса в Саратовском

государственном университете им. Н.Г. Чернышевского гуманитариям и неоднократно читался школьникам в «Колледже прикладных наук», созданном Дмитрием Ивановичем. И эта книга - шаг в том же направлении - к синтезу, к диалогу, к главным идеям, которые стоит осмысливать или развивать вне зависимости от научной специализации, языковых барьеров или конкретной профессиональной ориентации.

С другой стороны, эта книга конкретна. Она предполагает вдумчивого внимательного читателя. Ее очень полезно читать с карандашом в руках. И к некоторым главам, вероятно, многим читателям придется возвращаться не раз. Дмитрий Иванович - опытный штурман. Но читатель должен представлять, что путь лежит в бурных водах, где есть и рифы, и мели и куда первооткрыватели заглянули не так уж давно.

Еще, думаю, надо предупредить будущих путешественников о жанре этой книги. На первый взгляд, это очень четко и ясно написанное введение в предмет. Четкость, логика, последовательность, формулы, иллюстрирующие их картинки.

Но есть и второй, более глубокий слой. И вот на этом втором слое, во втором приближении, как говорят естественники, это уже книга в жанре «фэнтэзи». Так же, как в жанре «фэнтэзи», здесь есть свой чудесный, удивительный мир - мир Синергетики. Свои загадки, вершины, парадоксы, легенды. Так же, как в этом жанре, написанное - только вершина айсберга, часть огромного, прекрасно придуманного мира. Этот мир постоянно находится в нашем сознании, он заставляет совершенно по-другому воспринимать и оценивать те события, о которых мы узнаем.

В этой книге чуть-чуть приоткрыт занавес над той огромной частью синергетического мира, которая не поместилась в это «Введение». Но которую придумали, открыли, обустроили несколько поколений «синергетиков» и их предшественников.

Но в отличие от хорошей «фэнтэзи», дающей пищу душе, здесь должно появиться ощущение интеллектуальной вершины. И того, что игра Синергетики в тысячу раз удивительней, реальней и прекрасней любой сказки.

И теперь, пожалуй, главный вопрос путешественника - между каким начальным и конечным пунктом пройдет предлагаемый маршрут. Где те самые *A* и *B*, о которых любят толковать в задачниках по алгебре?

Начальный пункт особенно важен. Что должен знать и уметь читатель, чтобы путь не показался слишком тяжелым.

Я дам два ответа - один очень простой. Читатель должен представлять основные понятия и модели теории *линейных колебаний и волн* (математический маятник, резонанс, фазовая и групповая скорости, дисперсия и прочее). Дмитрий Иванович всерьез отнесся к изложению «линейного фундамента» нелинейной науки и написал про него замечательную книгу, которую мы издали в нашей серии¹. Она так же, как и эта работа, ориентирована и на студентов, и на школьников, и на естественников, и на гуманитариев. В ней также есть глубокомысленные замечания Действительного статского советника Козьмы Петровича Пруткова, очевидно, не чуждого синергетическим штудиям.

Но! У читателя может не оказаться под рукой этой книжки... Какой базис мог бы ее заменить? Тогда можно дать второй ответ. Думаю, что раздела курса общей физики «колебания и волны», проходимого в технических вузах, будет достаточно. На самом деле, достаточно и хорошего школьного курса колебаний и волн. Такого, как сейчас проходят во многих физико-математических школах нашего отечества.

¹ Трубецков Д. И. Введение в синергетику. Колебания и волны. М.: УРСС, 2003. 224 с.

Тем, кому не посчастливилось учиться в такой школе, можно посоветовать пролистать соответствующие главы Фейнмановских лекций по физике², кроме того в России издается замечательный журнал «Квант». И если просмотреть статьи в нем про колебания и волны, появившиеся за несколько взятых наугад лет, то, скорее всего, и этого окажется достаточно.

Ну а в отношении точки *B*, в которой читатель может оказаться после того, как последняя страница будет закрыта... Я бы сравнил ее с вершиной, с которой видно много удивительного и открываются волнующие перспективы. И многое зависит от того, куда Вы собираетесь двигаться дальше и что привлечет Ваш взор.

Технология? Здесь есть много научных идей, связанных с хаосом и структурами. Остров Коха - фигура, имеющая конечную площадь и бесконечный периметр. Ее пространственное обобщение имеет конечный объем и бесконечную площадь поверхности. Более 80% технологических процессов в химической промышленности идут в присутствии катализатора, находящегося на поверхности. А значит, крайне важно, чтобы поверхность была велика. И поэтому «фрактальные» зерна катализатора (где масштабная инвариантность имеет место в большом интервале масштабов) - это то, что нужно. И экспериментальные работы, связанные с созданием таких фрактальных зерен, успешно ведутся. При нынешних масштабах большой химии это могло бы дать миллиарды долларов экономии.

Повышение нефтеотдачи пласта. А здесь, напротив, языков обводнения фронтальных структур, «вязких пальцев», о которых идет речь в книге, надо всеми силами избегать. И здесь достигнут большой прогресс.

Экономика? Недавно вышла книга именно под таким названием - «Синергетическая экономика». В тридцатые годы наш выдающийся соотечественник Н.Д. Кондратьев создал теорию длинных волн - больших циклов изменения экономической конъюнктуры. Сейчас мы понимаем, что современная экономика - это царство колебаний и хаоса, разворачивающихся на разных масштабах - от взлетов и падений гигантских отраслей экономики до ежеминутных колебаний курсов валют на мировом валютном рынке. И в понимании, моделировании, прогнозе этих процессов все большую роль играет синергетика.

Математика? Общность нелинейных математических моделей, описывающих природу, общество, человека, лежит в самом фундаменте синергетики. Теория самоорганизации очень многим обязана математике и компьютерному эксперименту). Но все более важным становится и обратное влияние. Синергетика все чаще предлагает новые постановки математических проблем. Блестящим результатом - гордостью и синергетики, и математических наук в XX в. - стало открытие и исследование универсальных сценариев перехода от порядка к хаосу. Удивительно, что за самыми разными уравнениями, огромным разнообразием лежит глубокое внутреннее единство. И понять это главное можно с помощью поразительно простых объектов - одномерных отображений, но пользуясь достаточно сложными методами, которые пришлось развить специально для решения таких проблем, идущих от синергетики. Можно ожидать, что в будущем еще чаще, чем сейчас, «синергетики» будут давать работу «математикам».

Экология? История? Политология? Менеджмент? Сейчас синергетике есть что сказать специалистам и в этих областях. Впрочем, читатель из точки *B* это сам увидит.

Удачи вам! Счастливого пути!

² Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике: В 6 т. М.: УРСС, 2004. Т. 4. Кинетика, теплота, звук.

Эта книга - десятая в нашей серии. Первый юбилей.

Трудно представить, что чуть больше года назад мы сидели в уютном кабинете директора издательства УРСС Доминго Марин Рикоя, заставленном до потолка книгами, и толковали про серию. Про то, что целое не сводится к арифметической сумме своих частей. Про то, зачем нужна редколлегия, про самоорганизацию ученых, про тиражи и будущих читателей.

А серии тогда еще не было. Не было нашего трехголового дракона. И праздников, связанных с выходом каждой следующей книги серии. Праздников, которых дарит нам ангел-хранитель нашей серии Лена Ермолаева. Не было будней, когда каждый шаг требует намного больше усилий, чем планируешь. Когда электронные письма доходят в иные города так затейливо, что порой и не знаешь, то ли это неожиданная новая инициатива авторов, то ли ответ на послание месячной давности.

Главное - серия состоялась. Общий тираж книг серии, уверенно идущий к тридцатитысячному рубежу. Сотни магазинов и десятки стран, в которых продаются эти книги. И две работы из серии, вошедшие в цикл, авторы которого удостоились премии Правительства РФ в области образования за 2002 г. Дотошные читатели, находящие новые опечатки в изданном. И настойчивые авторы, полагающие, что именно их книги позволят синергетике шагнуть далеко вперед (и кое-кто из них в этом, безусловно, прав).

Многие члены редакционной коллегии, авторы и читатели книг нашей серии надеются, что это только начало. И это прекрасно! Будем надеяться, что они окажутся правы.

Председатель Редколлегии серии
«Синергетика: от прошлого к будущему»

Г.Г. Малинецкий

Оглавление

От редакции

Предисловие. Знак пути. *Г.Г. Малинецкий*

Глава 1. Нелинейные колебания

§1. «Нелинейность» - эссе Ю.А. Данилова, лучше которого не написать. §2. Нелинейный осциллятор - основная модель нелинейной теории колебаний. §3. Чуть-чуть о нелинейном резонансе и динамической стохастичности. §4. Автоколебания. Христиан Гюйгенс и часы. Ван дер Поль, Андронов и ламповый генератор. Магнетрон спасает Великобританию от гитлеровской авиации (почти по Чарльзу Сноу). Мазеры и гиротрон. Солдаты опять идут по мосту - фазовая группировка нелинейных осцилляторов.

Глава 2. Нелинейные волны

§1. Поток невзаимодействующих частиц и нелинейные волны. Что такое простая волна? Волны в автомобильном потоке. §2. Ударные волны. §3. Уединенные волны - солитоны.

Глава 3. Хаос и структуры

§1. Как возникает случайность в динамической системе. §2. С чего все началось - модель Лоренца. §3. Сценарии перехода к хаосу. Универсальность перехода к хаосу по Фейгенбауму. Развитая вихревая турбулентность: спектр Колмогорова - Обухова (опять теория размерности). Уравнение вязкой жидкости (уравнение Навье - Стокса) и одномерное отображение. Сценарий Фейгенбаума? Другие сценарии возникновения хаоса: перемежаемость, разрушение квазипериодических колебаний. §4. Топологическая размерность и размерность Хаусдорфа - Безиковича. Фракталы. §5. Образование структур и самоорганизация. Ячейки Бенара. Вихри Тейлора в течении Куэтта. Автоволновые процессы и системы. Клеточные автоматы. Игра «Жизнь».

Глава 4. Как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику, социальные науки и медицину

§1. Модели развития и взаимодействия в экологии (модель Мальтуса и ее обобщение Ферхюльстом). §2. Феномен логистического уравнения (оно описывает эволюцию популяции в экологии, эволюцию научной продукции, деятельность «Красных бригад» в Италии, развитие готического стиля в архитектуре и др.). §3. Детерминированный хаос в экологических моделях. Модель «хищник - жертва - пища». §4. Циклы Кондратьева в экономике. §5. Модели Гудвина циклов капиталистической экономики. Модель 1. Модель 2. Модель 3. §6. Математическая модель сосуществования производителей и управленцев. §7. Нелинейные модели Вайдлица и их применение к экономическим и социальным задачам. Взаимодействие народа и правительства. Взаимодействие старой и новой отраслей промышленности. Эволюция модного ресторана. §8. Хаос и структуры в социально-экономических моделях. Развитие системы образования в условиях конкуренции. Формирование общественного мнения. Эволюционирующий рынок. §9. Математическая модель роста народонаселения мира. §10. Теория эпидемий. §11. Динамические болезни.

Вместо заключения

Литература

Вместо заключения

В журнале «Иностранная литература» (№ 5, 1999) был опубликован роман Петера Корнеля «Пути к раю. Комментарии к потерянной рукописи» (впоследствии роман выходил отдельной книгой). Предисловие к роману написал известный писатель Милорад Павич. Приведем его целиком.

«Несколько лет назад я испытал настоящее восхищение, наткнувшись на один из нелинейных романов, - если можно так назвать книгу Корнеля «Пути к раю». Я бы сказал, что это «роман в сносках». Как только это понимаешь, становится уже не важно, о чем этот роман: вас ведет вперед по его страницам желание пережить тот новый читательский опыт, который он вам предлагает. Итак, самого текста книги не было, существовали только сноски-комментарии к тексту. Нечто похожее на схолии, на толкования загадочного текста, который нам недоступен. На основе этих примечаний, помещаемых под чертой в нижней части страницы, мы можем только вообразить себе роман или что-то, что находилось над чертой. Сама по себе идея замечательна и реализована с такой фантазией, что каждый читатель может создать свою собственную, отличную от всех других книгу. Всему этому во многом способствовали и иллюстрации, которые шведский писатель приложил к роману, проявив себя прекрасным знатоком изобразительного искусства и эзотерики. С 1987 г., когда была впервые опубликована книга П. Корнеля, прошло уже более десяти лет. За это время я предложил поэту Раше Ливаде напечатать ее в переводе на сербский в его знаменитом журнале «Писмо» (этот журнал - своего рода белградский собрат «Иностранной литературы»), что он и сделал. Итак, как я уже сказал, прошло больше десяти лет, но время добавило новые аргументы в пользу произведения Корнеля. Благодаря этой книге он вошел в узкий круг современных писателей, пользующихся нелинейным письмом (nonlinear narratives) и создающих интерактивную литературу. Ибо что же такое «Пути к раю», как не одно из тех произведений, которые, избавившись от рабства линейности языка, открывают перед нами, читателями, возможность самим участвовать в создании определенного текста, возможность переместить процесс чтения на новый уровень. На уровень, где ветвятся наши мысли и наши сны, совершенно нелинейные, в отличие от языка, на котором веками писали классики. Мне представляется, что благодаря этому перед Петером Корнелем открыты двери в литературу XXI века».

Нелинейная динамика проникает в художественную литературу?

Д.И. Трубецков